

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

**Decision-making model for a selection of an optimal heating
system in a selected facility**

Bakalářská práce

Autor: **Daniel Kajzr**

Vedoucí práce: Ing. Hana Čermáková, CSc.

Konzultant: Ing. Julie Volfová

V Liberci 18. 5. 2012



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniel Kajzr**
Osobní číslo: **M09000062**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu**
Zadávající katedra: **Ústav řízení systémů a spolehlivosti**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vyberte a charakterizujte druh vytápěného objektu (lokalita, vytápěná plocha, nároky na vytápění).
2. Zpracujte přehled technických i ekonomických parametrů alternativních systémů vytápění (klasické, geotermální, solární, větrné) vzhledem k potřebám vybraného objektu.
3. Proveďte analýzu získaných informací.
4. Proveďte vyhodnocení optimálního druhu vytápění pro zadaný objekt.
5. Zpracujte citlivostní analýzu změn vstupních parametrů systému vytápění (dotační politika státu, výkupní ceny energie, změna lokality ad.).
6. Proveďte analýzu výsledků s ohledem na změny vstupních hodnot energetického systému, případně lokality.

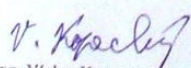


Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

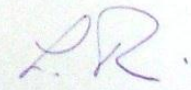
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

1. Obnovitelné zdroje energie. Dostupné z WWW:
<<http://www.alternativni-zdroje.cz/>>.
2. Alternativní zdroje energie: Dostupné z WWW:
<<http://www.egf.cz/zdroje.html>>.
3. Miroslav Synek a kol.: Manažerská ekonomika, Grada Publishing a.s., 2003,
ISBN 80 - 247-0515-X

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Hana Čermáková, CSc.**
Ústav řízení systémů a spolehlivosti
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Julie Volfová**
Ústav nových technologií a aplikované informatiky
Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2012**


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Libor Tůma, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 14. října 2011



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 18.5.2012

Podpis



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí své práce Ing. Haně Čermákové, CSc. za rady a podněty při tvorbě práce.

Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu při tvorbě této práce a za kontrolu textu.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Abstrakt

Tato práce obsahuje teoretický návrh optimálního systému vytápění. Na začátku popisují vybraný objekt a jeho systém vytápění. V další části se zabývám podrobnou rešerší týkající se alternativních zdrojů vytápění, konkrétně tepelnými čerpadly, kotli na biomasu a solárními systémy pro ohřev teplé užitkové vody.

V praktické části se snažím pro daný objekt vyčíslit pořizovací a provozní náklady jednotlivých systémů vytápění včetně ohřevu teplé vody. Tyto náklady jsou vyčísleny pro konkrétní zařízení.

Pro výběr optimálního systému vytápění jsem sestavil tabulku využívající multikriteriální hodnocení včetně ukázkového vyhodnocení pro různé požadavky na systém vytápění. Pro úplnost uvádím citlivostní analýzu při změně lokality vybraného objektu.

Tato studie poskytuje přehled a porovnání alternativních a konvenčních zdrojů vytápění.

Klíčová slova

Vytápění, alternativní zdroje, tepelná čerpadla, solární kolektory, biomasa.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Abstract

This work contains the theoretical proposal for optimal heating system. At the beginning I describe the chosen object and its heating system. The next section deals with the detailed researches on alternative heating sources, namely heat pumps, biomass boilers and solar systems for heating hot water.

In the practical part I try to quantify the object acquisition and operating costs of individual heating systems including hot water. These costs are calculated for a particular device.

For the selection of the optimum heating system I compiled the table using multi-criteria evaluation, including model evaluation for different heating requirements. To give complete picture I introduce as well sensitivity analysis for condition of changing location of the chosen object.

This study provides an overview and comparison of alternative and conventional heating sources.

Keywords

Heating, alternative sources, heat pumps, solar collectors, biomass.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Klíčová slova.....	5
Abstract	6
Keywords	6
1 Úvod.....	13
2 Charakteristika zvoleného objektu.....	14
3 Alternativní zdroje energie	15
4 Geotermální energie a energie prostředí-tepelná čerpadla	16
4.1 Princip tepelného čerpadla.....	16
4.2 Základní parametry tepelných čerpadel	17
4.3 Základní typy tepelných čerpadel	19
4.3.1 Tepelné čerpadlo země-voda	19
4.3.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda	22
5 Energie biomasy	23
5.1 Druhy biomasy.....	23
5.2 Základní parametry fytomasy	23
5.3 Technologie využití biomasy	25
5.4 Technologie spalování biomasy.....	25
5.5 Spalovací zařízení	27
6 Sluneční energie.....	30
6.1 Možnosti technického využití energie slunečního záření:	30
6.1 Aktivní solární systémy	30



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

6.1.1	Solární kolektor.....	30
6.1.2	Solární zásobník.....	33
6.1.3	Transportní systém.....	34
6.1.4	Regulační zařízení pro solární systém	34
7	Ekonomika variant vytápění zvoleného objektu.....	35
7.1	Určení roční potřeby tepla pro daný objekt	35
7.2	Vytápění pomocí kotle na zemní plyn	37
7.2.1	Pořizovací náklady.....	38
7.2.2	Provozní náklady	39
7.3	Vytápění pomocí elektrokotle.....	41
7.3.1	Pořizovací náklady.....	41
7.3.2	Provozní náklady	42
7.4	Vytápění pomocí TČ vzduch-voda	44
7.4.1	Pořizovací náklady.....	44
7.4.2	Provozní náklady	45
7.5	Vytápění pomocí TČ země-voda (monovalentní režim)	51
7.5.1	Pořizovací náklady.....	51
7.5.2	Provozní náklady	52
7.5.3	Vytápění pomocí TČ země-voda (bivalentní režim)	56
7.5.4	Pořizovací náklady.....	56
7.5.5	Provozní náklady	57
7.6	Vytápění pomocí zplyňovacího kotle na biomasu	61
7.6.1	Pořizovací náklady.....	62
7.6.2	Provozní náklady	62
7.7	Vytápění pomocí automatizovaného kotle na pelety	66



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

7.7.1	Provozní náklady	67
7.8	Ohřev TUV pomocí solárních kolektorů a vytápění pomocí elektrokotle / kotle na zemní plyn.....	68
7.8.1	Pořizovací náklady.....	69
7.8.2	Provozní náklady:	70
7.9	Kombinace zplyňovacího kotle a solárních kolektorů.....	71
7.9.1	Pořizovací náklady.....	72
7.9.2	Provozní náklady	72
8	Analýza	74
8.1	Multikriteriální rozhodovací analýza – MKRA.....	74
8.2	Citlivostní analýza	78
	Závěr.....	80
	Použitá literatura	82
	Seznam příloh	84



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Seznam obrázků

Obr. 1: Jižní pohled.....	14
Obr. 2: Princip tepelného čerpadla [2]	17
Obr. 3: Bivalentní provoz [5]	19
Obr. 4: Tepelné čerpadlo využívající horizontální zemní kolektory [7].....	20
Obr. 5: Tepelné čerpadlo využívající svislé zemní vrty [7].....	21
Obr. 6: Tepelné čerpadlo vzduch-voda [7]	22
Obr. 7: Schéma kotle s hořákem a zásobníkem [9].....	27
Obr. 8: Zplyňovací kotel [9]	28
Obr. 9: Základní součásti solárního kolektoru [12]	32
Obr. 10: Řez bivalentním zásobníkem [13]	33
Obr. 11: Křivka topného výkonu tepelného čerpadla vzduch-voda.....	47
Obr. 12: Křivka topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda	47
Obr. 13: Křivka topného výkonu tepelného čerpadla země-voda.....	52
Obr. 14: Křivka topného faktoru tepelného čerpadla země-voda	53
Obr. 15: Křivka topného výkonu tepelného čerpadla země-voda.....	58
Obr. 16: Křivka topného faktoru tepelného čerpadla země-voda	58
Obr. 17: Citlivostní analýza změny lokality 1	79
Obr. 18: Citlivostní analýza změny lokality 2	79



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Seznam tabulek

Tab. 1: Orientační hodnoty topných faktorů [3]	17
Tab. 2: Parametry půdního kolektoru [2].....	20
Tab. 3: Přehled výhřevností jednotlivých typů fytomasy [4].....	24
Tab. 4: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu plynem.....	40
Tab. 5: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu el. energií.....	43
Tab. 6: Zadané hodnoty výkonů tepelného čerpadla	48
Tab. 7: Zadané hodnoty topných faktorů tepelného čerpadla.....	48
Tab. 8: Přehled roční potřeby elektrické energie TČ vzduch-voda	48
Tab. 9: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu TČ vzduch-voda.....	50
Tab. 10: Zadané hodnoty výkonů tepelného čerpadla	53
Tab. 11: Zadané hodnoty topných faktorů tepelného čerpadla.....	53
Tab. 12: Přehled roční potřeby elektrické energie TČ země-voda	54
Tab. 13: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu TČ země-voda.....	55
Tab. 14: Zadané hodnoty výkonů tepelného čerpadla	59
Tab. 15: Zadané hodnoty topných faktorů tepelného čerpadla.....	59
Tab. 16: Přehled roční potřeby elektrické energie TČ země-voda	59
Tab. 17: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu TČ země-voda.....	61
Tab. 18: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu zplyňovacím kotlem	66
Tab. 19: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu aut. kotlem.....	68
Tab. 20: MKRA	77



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Seznam zkratek

ČEZ – České Energetické závody

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

MKRA – multikriteriální rozhodovací analýza

NT – nízký tarif

TČ – tepelné čerpadlo

VT – vysoký tarif

TUV – teplá užitková voda



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

1 Úvod

V bakalářské práci se zabývám současným tématem propojujícím vědeckotechnický svět s potřebami běžné společnosti v době, kdy z médií neustále slýcháme o krizi energetické, environmentální, společenské apod. Toho využívají zájmové skupiny k prosazování svých vlastních cílů, zejména v oblasti energetiky v souvislosti s hledáním alternativních energetických zdrojů. Mojí snahou bylo proto vytvořit „jednoduchý“ rozhodovací model pro výběr optimální technologie vytápění definovaného objektu. Rozhodovací model je demonstrován na příkladu výběru optimální technologie vytápění standardního rodinného domu.

Cílem je přiblížení a srozumitelné porovnání jak technických, tak i ekonomických parametrů na základě dostupných zdrojů, obecných hypotéz a komerčních informací. Potřebné informace jsem čerpal z nabídek firem, internetových stránek i konzultacemi s výrobcí jednotlivých topných systémů.

První část bakalářské práce obsahuje charakteristiku definovaného rodinného domu, jeho technické parametry a stávající otopný systém. Dále předkládám jednotlivé možnosti alternativních zdrojů vytápění.

Ve druhé, praktické části uvádím stručný popis vybraných alternativních zdrojů vytápění. Shrnuji jejich technické parametry, které následně podporují konkrétními výpočty pro daný objekt. Technické parametry jsou doplněny ekonomickými charakteristikami.

Výběr optimálního systému vytápění je proveden metodou multikriteriální hodnotové analýzy. Kritéria hodnocení tvoří technické, technologické a ekonomické parametry, které popisují ekonomickou efektivnost, snadnost obsluhy i účinnost jednotlivých systémů. Výběr kritérií byl proveden z pohledu uživatele, tj. provozovatele topného systému. Součástí hodnocení je porovnání alternativních zdrojů tepla s konvenčními způsoby vytápění.

Závěr práce obsahuje citlivostní analýzu. Je zpracována s ohledem na změnu výkonu jednotlivých systémů při změně dispozičních podmínek vytápěného objektu (změna lokality).

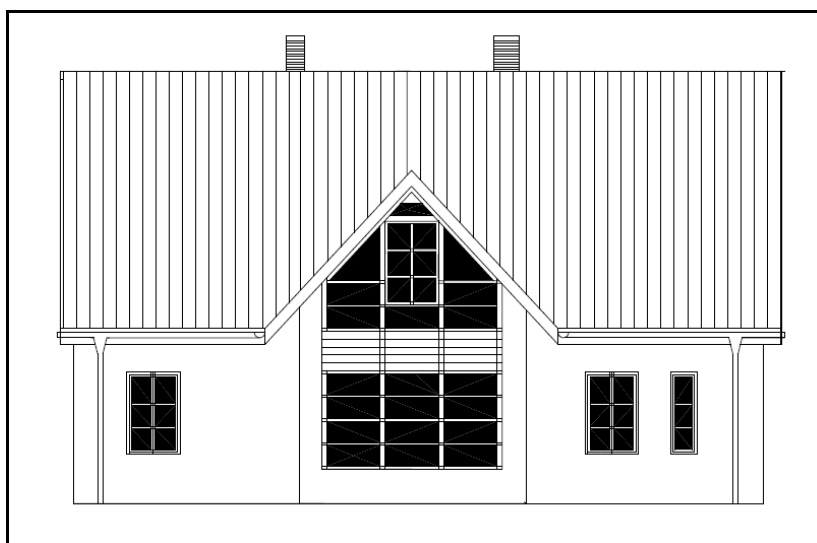


Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

2 Charakteristika zvoleného objektu

Posuzovaným domem je nový rodinný dům postavený v obci Rovensko pod Troskami. Obvodové zdivo je tvořeno cihlovými bloky Porotherm tloušťky 44 cm opatřené vápenocementovou omítkou. Do budoucna se počítá se zateplením a to buď polystyrénem nebo minerální vatou podle volby fasády. Dům je dvoupodlažní, částečně podsklepený, o celkové rozloze 300 m². Sklep má rozlohu 30 m², první nadzemní podlaží má rozlohu 135 m², z toho obytné prostory tvoří 70 m². Druhé nadzemní podlaží má též rozlohu 135 m², z toho obytné prostory 95 m². Střecha je sedlová se sklonem 45 stupňů. Jako střešní krytina je použita betonová taška Bramac. K využití solární energie je možno použít jižní část střechy, která má plochu 56 m². Okna jsou ze 70-ti procent plastová, opatřená izolačním dvojsklem a ze 30-ti procent hliníková, s přerušným tepelným mostem, též opatřená izolačním dvojsklem. Izolace střechy je provedena pomocí minerální vaty o tloušťce 27 cm. Střecha je dvouplášťová.

Tepelná ztráta objektu byla vypočtena projektantem jako součást projektu vytápění. Její hodnota je 17 kW. Vytápění domu je řešeno jako teplovodní otopná soustava. Topným zdrojem je plynový kondenzační kotel značky Buderus o výkonu 24 kW. Otopná tělesa jsou dimenzována na tepelný spád 55/45 stupňů z důvodu možnosti připojení nízkoteplotních zdrojů. V obývacím pokoji jsou instalována krbová kamna s dvoustupňovým spalováním o nominálním výkonu 7 kW.



Obr. 1: Jižní pohled



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

3 Alternativní zdroje energie

Alternativními zdroji energie rozumíme takové zdroje energie či technologie, které jsou z hlediska využívání v menšině oproti klasickým zdrojům energie. Klasické zdroje energie jsou např. fosilní paliva a atomová energie. Mezi alternativní zdroje energie můžeme řadit následující:

- sluneční energie
- energie biomasy
- větrné energie
- vodní energie
- geotermální energie a energie prostředí [1]

V rodinném domě je z praktických i ekonomických hledisek výhodné využití jen některých alternativních zdrojů energie. Pro svou bakalářskou práci jsem si vybral následující alternativní zdroje energie a příslušné technologie:

- geotermální energie a energie prostředí – tepelná čerpadla
- energie biomasy – kotle na biomasu
- sluneční energie – solární kolektory



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

4 Geotermální energie a energie prostředí – tepelná čerpadla

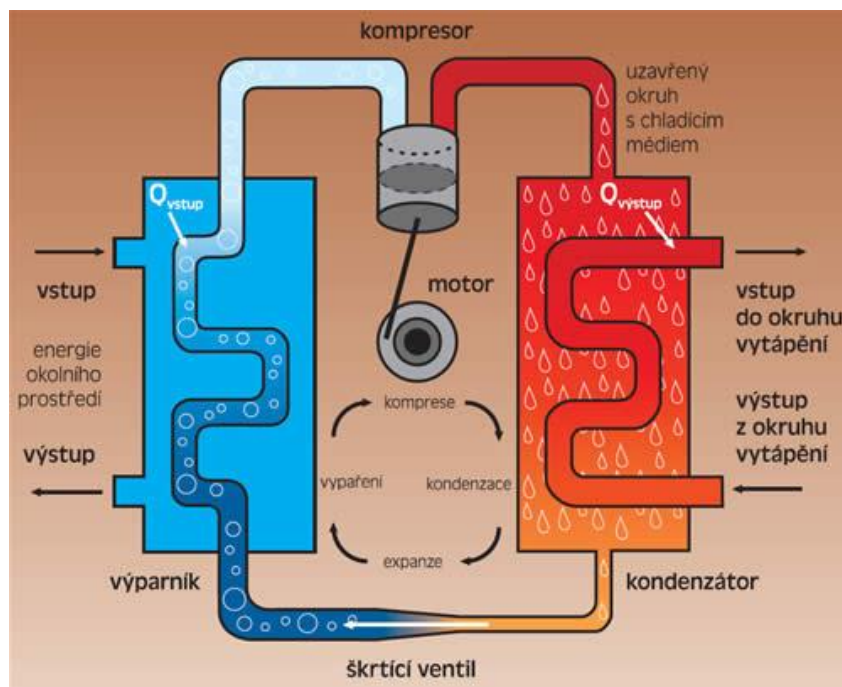
Tepelné čerpadlo je zařízení, které umí za přispění energie převést nízkopotenciálové teplo na teplo s vyšší energetickou hladinou. Funguje v podstatě jako chladnička. Chladnička odebírá pomocí výparníku teplo vyzařované z potravin a přeměňuje ho na teplo s vyšší energetickou hladinou, které předává okolí svou zadní stranou pomocí kondenzátoru. V případě tepelného čerpadla je teplo z potravin nahrazeno geotermálním teplem ze země, popř. z vody nebo teplem ze vzduchu. [2, 3]

4.1 Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo se skládá z několika základních částí a to z kompresoru poháněného motorem, ze dvou výměníků – výparníku a kondenzátoru a ze škrtkovacího ventilu. Celý cyklus fungování tepelného čerpadla dokumentuje obrázek 2 a lze ho popsat následovně:

Nízkopotenciálové teplo je odebráno z okolního prostředí pracovní látkou (voda, vzduch, solanka) do výparníku. Ve výparníku je toto teplo odnímáno pracovní látkou prostřednictvím chladiva, které se v důsledku ohřátí odpařuje. Páry chladiva jsou odsávány a stlačovány v kompresoru. Tím se zvýší jejich tlak a teplota. Páry jsou odváděny do kondenzátoru, kde předávají teplo ohřívání látky. Zároveň se ochladí a kondenzují. Chladivo v kapalném stavu je odváděno přes škrtkovací ventil do výparníku a celý cyklus se opakuje. [2]

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu



Obr. 2: Princip tepelného čerpadla [2]

4.2 Základní parametry tepelných čerpadel

Pro správný výběr tepelného čerpadla je důležité znát následující pojmy:

Topný faktor

Topný faktor je jedním z nejdůležitějších parametrů tepelného čerpadla. Udává poměr mezi topným výkonem a elektrickým příkonem tepelného čerpadla. Topný faktor se velmi výrazně mění dle teplot na primární a sekundární straně tepelného čerpadla. Teplota na primární straně je např. teplota nemrznoucí směsi na výstupu z vrtu tepelného čerpadla a teplota na sekundární straně je teplota topné vody na výstupu tepelného čerpadla. [5]

Orientační přehled topných faktorů tepelných čerpadel značky IVT je uveden v tabulce 1.

Tab. 1: Orientační hodnoty topných faktorů [5]

<i>Orientační hodnoty topných faktorů tepelných čerpadel IVT</i>			
Charakter provozu	Teploty vody vstup/výstup °C	Topný faktor Greenline 11 PLUS	Topný faktor Greenline 9 PLUS
Vytápění radiátory nebo ohřev bazénu	0/45	3,9	3,6
Vytápění podlahové	0/35	5,0	4,6
Ohřev TUV	0/50	3,5	3,2



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Ekvitermní regulace

Regulace, která v závislosti na venkovní teplotě upravuje teplotu topné vody vstupující do topného systému. Pracuje s takzvanými topnými křivkami, podle nichž směšuje topnou vodu tak, aby měla v každém okamžiku optimální teplotu. U tepelných čerpadel je ekvitermní regulace důležitější než u jiných zdrojů tepla, protože čím je nižší teplota topné vody, tím je provoz tepelného čerpadla levnější. [6]

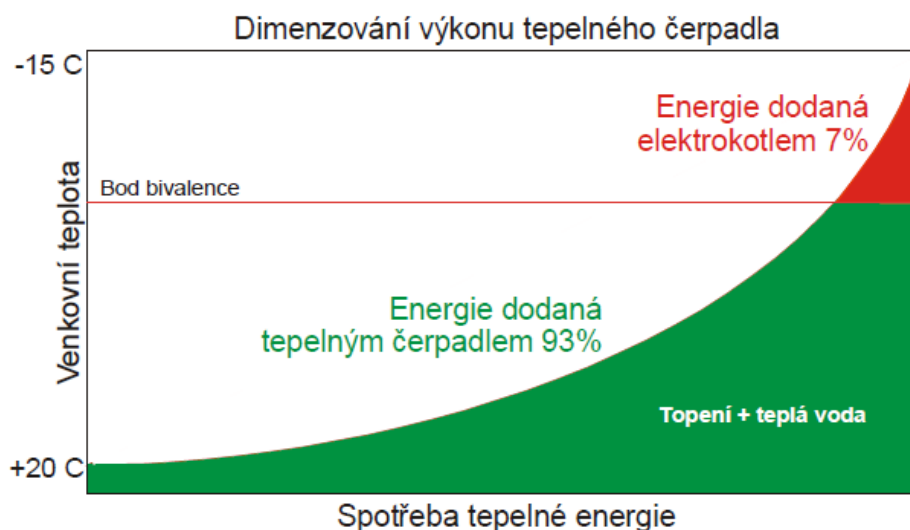
Bivalentní režim

Je takové zapojení, kde tepelné čerpadlo pokrývá pouze část tepelné ztráty objektu a zbytek je v případě potřeby pokryt jiným zdrojem tepla, např. elektrokotlem. Výhody tohoto zapojení jsou např. snížení investičních nákladů na pořízení tepelného čerpadla (stačí menší výkon tepelného čerpadla). Dále snížení četnosti spínání tepelného čerpadla – prodloužení životnosti kompresoru. Jiný zdroj tepla nám také slouží jako částečná rezerva v případě výpadku tepelného čerpadla. Instalovaný výkon tepelného čerpadla volíme dle navrhovaného systému. U tepelného čerpadla země-voda se volí pokrytí tepelné ztráty objektu v rozmezí 55–70 % . U tepelných čerpadel vzduch-voda je doporučený výkon až 90 %. Obrázek 3 dokumentuje množství energie dodané tepelným čerpadlem a množství energie dodané bivalentním zdrojem při bivalentním režimu [5]

Monovalentní režim

Je takové zapojení, kde výkon tepelného čerpadla odpovídá 100 % tepelné ztráty objektu. Tento režim se volí především v těch případech, kdy je dostupná pouze slabá elektrická síť, která neumožňuje použití jiného elektrického dotopu. [5]

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu



Obr. 3: Bivalentní provoz [5]

4.3 Základní typy tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla můžeme rozdělit do několika skupin, podle toho jaký primární zdroj tepla využívají, teplo ze země (z hornin), vody, nebo vzduchu. Dále tepelná čerpadla dělíme podle teploty nosné látky, tj. látky, kterou vytápíme – voda, vzduch. Tepelnými čerpadly, která využívají jako primární zdroj tepla vodu, se v mé bakalářské práci zabývat nebudu, protože k jejich provozu je potřeba vhodný vodní zdroj a různá povolení, což je dosti specifický požadavek. Z praktických hledisek se budu zabývat následujícími typy tepelných čerpadel.

4.3.1 Tepelné čerpadlo země-voda

U tohoto typu tepelných čerpadel můžeme podle způsobu získávání nízkopotenciálové energie ze zemského masivu rozlišovat dva typy:

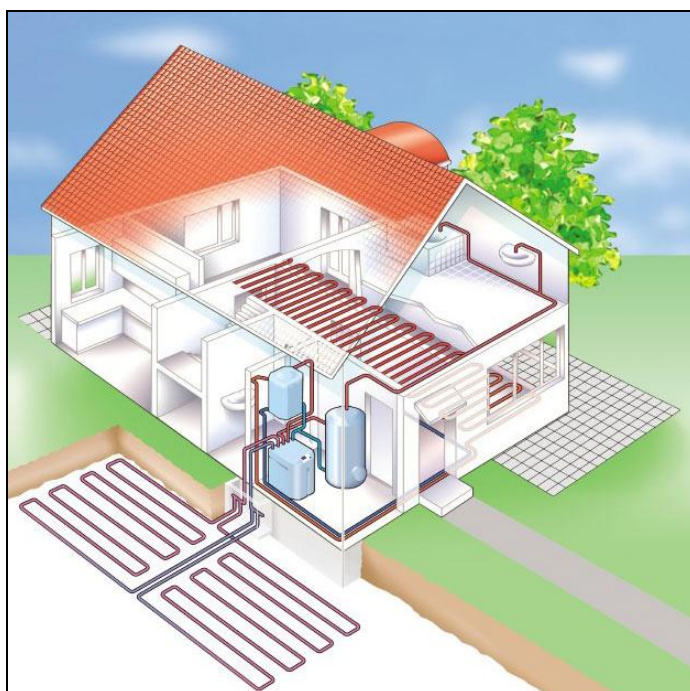
- tepelná čerpadla využívající horizontální zemní kolektory (výměníky)
- tepelná čerpadla využívající svislé zemní vrty (sondy, výměníky) [4]

Tepelná čerpadla využívající horizontální zemní kolektory

Využívají se pro získávání tepla z podpovrchových vrstev zemského masivu. Teplo získáváme ze země pomocí tepelného výměníku z polyetylenového potrubí plněného nemrznoucí směsí. Potrubí se ukládá do hadovitého výkopu obvykle do hloubky 1 až 1,5 m v rozteči 1 m. V porovnání s tepelnými čerpadly (využívající svislé

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

zemní vrty) má výrazně nižší pořizovací náklady a menší náročnost na realizaci za cenu mírně horšího topného faktoru. Omezující podmínkou je pouze velikost pozemku, který nebude dále upravován (stavby, komunikace) a možnost jednoduchého provádění výkopů v zemině. Vlivem kolísání teplot v zemině se i mírně mění topný faktor, nejhorší je koncem topné sezóny, protože půda už je vychlazená. Z tohoto důvodu je vhodná regenerace půdy v letním období. Velikost plošného kolektoru je dána tepelnou ztrátou objektu a výkonem tepelného čerpadla, také závisí na druhu půdy a topném faktoru tepelného čerpadla jak uvádí tabulka 2. [2, 5]



Obr. 4: Tepelné čerpadlo využívající horizontální zemní kolektory [7]

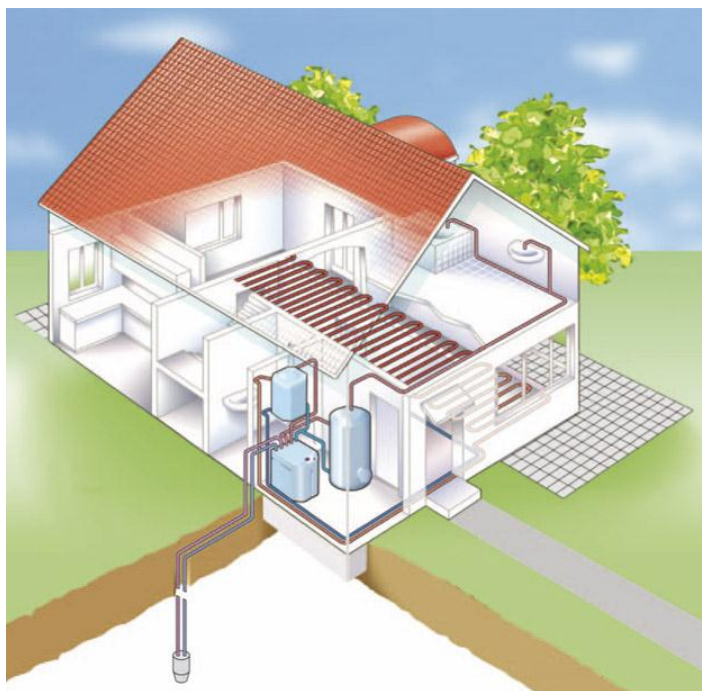
Tab. 2: Parametry půdního kolektoru [2]

Druh půdy	měrný výkon získaný z půdy [W/m ²]	Plocha výměníku pro tepelné čerpadlo s top. faktorem:		
		3 [m ² /kW]	3,5 [m ² /kW]	4 [m ² /kW]
Suchá nezpevněná půda	10	66	71	75
Ulehlá vlhká půda	20–30	33–22	36–24	38–25
Vodou nasycené štěrky a písky	40	17	18	19

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Tepelná čerpadla využívající svislé zemní vrty

Využívají se pro získávání tepla ze zemského masivu do hloubek cca 200 m. Teplo ze zemského podloží získáváme pomocí vrtu, do kterého je umístěna polyetylenová hadice kolektoru (kolektor může být tvořen dvěma, nebo čtyřmi hadicemi). V hadici kolektoru proudí nemrznoucí směs nejčastěji vodní roztok monopropylenglykolu nebo monoetylglykolu. Celý vrt se pak musí utěsnit cementovou nebo jílocementovou směsí. Obvyklé hloubky vrtů se pohybují od 50 do 150 m. V případě potřeby většího množství vrtů se celková délka rozdělí do více vrtů stejné délky, které by měly mít minimální odstup od sebe 10 m, aby se vzájemně neovlivňovaly. Hloubka vrtu závisí obdobně jako u předchozího typu tepelného čerpadla na ztrátě objektu, výkonu tepelného čerpadla a topném faktoru. Důležitou roli hraje také tepelná vodivost horniny, hloubka vrtu se pohybuje od 12 do 18 m na 1 kW výkonu tepelného čerpadla. V porovnání s tepelnými čerpadly využívajícími horizontální zemní kolektory mají o něco lepší, ale hlavně téměř neměnný topný faktor a minimální nároky na prostor. Tyto výhody jsou ale bohužel vykoupeny cenou zhotovení vrtu, která je zhruba třikrát větší než u tepelného čerpadla využívajícího horizontální zemní kolektory.

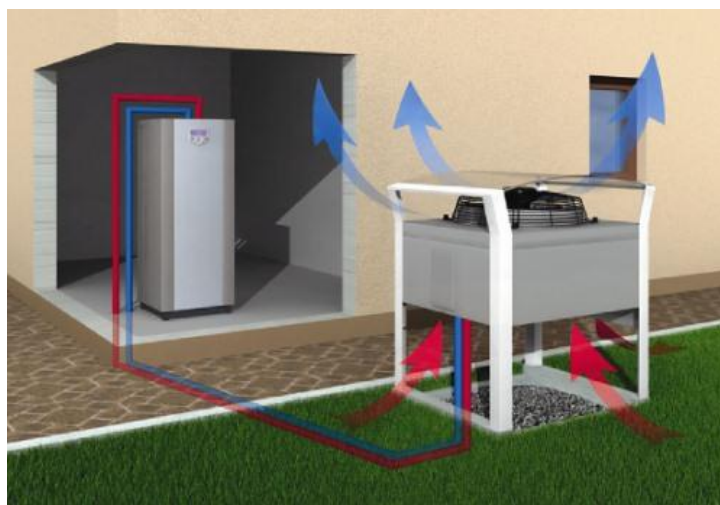


Obr. 5: Tepelné čerpadlo využívající svislé zemní vrty [7]

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

4.3.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Využívá nízkopotenciálové teplo obsažené v okolním vzduchu. Tepelné čerpadlo se obvykle skládá ze dvou částí, z venkovní a vnitřní. Provedení může být buď jako samostatná venkovní jednotka (výparník) a vnitřní jednotka (zbytek tepelného čerpadla, automatika a akumulční zásobník vody) nebo kompaktní venkovní provedení – uvnitř je pouze akumulční zásobník vody + automatika. Obecně je venkovní vzduch ve venkovní části tepelného čerpadla nasáván pomaloběžným ventilátorem a ochlazován. Průtok vzduchu činí řádově tisíce m^3/h . V některých případech se volí kompaktní vnitřní provedení, kde je celý systém umístěn uvnitř budovy a vzduch je nasáván z venku a ven vyfukován. Množství energie ve vzduchu není přímo úměrné teplotě vzduchu, ale silně závisí na jeho vlhkosti – je-li vzduch chladný, je v něm i málo vody – množství energie klesá rychleji. Z toho vyplývá, že v době nejnižších okolních teplot, kdy je potřeba tepla v objektu nejvyšší, pracuje tepelné čerpadlo s nejnižším topným faktorem a obvykle i s nižším výkonem. V současné době jsou tepelná čerpadla schopna pracovat do teplot -15 až -20°C . Při extrémně nízkých teplotách musí být tepelná čerpadla vypnuta a vytápění pak zabezpečuje jiný zdroj tepla, který musí být dimenzován na 100 % potřebného topného výkonu. Při porovnání s tepelným čerpadlem typu země-voda má tepelné čerpadlo vzduch-voda menší pořizovací náklady a jednodušší instalaci (není potřeba velký pozemek atd.). Nevýhodou tohoto typu tepelného čerpadla je nižší a hlavně proměnný topný faktor, dále také možný hluk a nižší životnost.



Obr. 6: Tepelné čerpadlo vzduch-voda [7]



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

5 Energie biomasy

Biomasa je substance biologického původu. Rozlišujeme rostlinnou biomasu pěstovanou v půdě a ve vodě, živočišnou biomasu, produkci organického původu a organické odpady. Biomasa má zdroj ve slunečním záření a fotosyntéze a patří mezi obnovitelné zdroje energie. [8]

5.1 Druhy biomasy

Pojmem biomasa označujeme organickou hmotu buď živočišného původu:

- odpady – zemědělská produkce, stájová zvířata
- exkrementy – zemědělská produkce, stájová zvířata

nebo rostlinného původu – fytomasa, kterou dále dělíme na jednotlivé podtypy:

- dřevní hmota (odpadní) – palivové dřevo, štěpka, pelety, brikety
- stébelniny, sláma, traviny – balíky, pelety
- energetické rostliny – cíleně pěstované dřeviny, obiloviny a traviny
- plodiny – olej (semena), cukry (ovoce, cukrová řepa, aj.), škroby (kukuřice, brambory, aj.). [4]

V souvislosti s vytápěním domů se především používá dřevní hmota – palivové dřevo, štěpka, pelety, brikety.

5.2 Základní parametry fytomasy

Při použití fytomasy jako paliva jsou důležité následující parametry:

Vlhkost

Výrazně ovlivňuje vlastnosti spalování fytomasy. Obsah vlhkosti ve fytomase snižuje výhřevnost a zhoršuje kvalitu spalování. To se projevuje nižší účinností spalování, vyššími emisemi znečišťujících látek a snížením životnosti kotle. Vlhkost ve fytomase je definována jako podíl hmotnosti vody ve vzorku vůči hmotnosti původního vlhkého vzorku, vyjadřuje se v procentech. Typická vlhkost čerstvé dřevní fytomasy je 40 až 60 % podle druhu fytomasy. Sušením dřevní fytomasy na volném prostranství se



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

vlhkost sníží na 15 až 20 %. To už je vlhkost použitelná pro kotle malých výkonů (větším kotlům nedělá problém použít fyto masu o vlhkosti 50 %). [4]

Výhřevnost

Výhřevnost dokonale suché fyto masy H_0 je 18,6 MJ/kg nezávisle na rostlině, na které vznikla. Vzhledem k chemickému složení, zvláště obsahu O_2 , je spálené teplo a výhřevnost fyto masy nižší než u fosilních paliv. Respektive výhřevnost dřevní hmoty vztažená ke hmotnosti je srovnatelná s výhřevností hnědého uhlí, ale z hlediska objemové výhřevnosti jsou srovnatelné pouze dřevní pelety. Nižší energetický obsah v objemu fytopaliv má za následek vyšší nároky na prostory topenišť a skladů paliva, nákladnou manipulaci a nutnost zpracování fytopaliv právě do koncentrovaných forem (pelety, brikety). Rozdílná výhřevnost u jednotlivých druhů fyto masy je způsobena její různou vnitřní strukturou a typickou vlhkostí po vyschnutí. Závislost výhřevnosti fyto masy H v MJ/kg na její vlhkosti W lze popsat rovnicí:

$$H = \frac{H_0 \cdot (100 - W) - 2,453 \cdot W}{100} \quad (\text{rovnice 1})$$

U dřeva je možné obecně uvažovat s průměrnou hodnotou výhřevnosti $H = 14,3$ MJ/kg (počítáme s 20% vlhkostí). Závislost typu fyto masy na objemové výhřevnosti a výhřevnosti vztažené ke hmotnosti dokumentuje tabulka 3. [4]

Tab. 3: Přehled výhřevností jednotlivých typů fyto masy [4]

Typ dřeva (vlhkost)	Výhřevnost [MJ/kg]	Hustota [kg/m³]	Výhřevnost [MJ/m³]
dub, jasan	15,1	690	10 419
topol, olše, javor, vrba	14,8	630	9 324
buk	14,4	700	10 080
borovice, modřín	15,8	520	8 216
smrk, jedle	16,2	440	7 128
pelety	15,1 – 19,5	1000 – 1400	19 500 – 21 100
hnědé uhlí tříděné	14 – 20	900 – 1200	12 600 – 24 000

Obsah popela

Je závislý na druhu fyto masy a jeho chemickém složení a má vliv na teplotu tavení a spékavost na roštu. Obsah popela tak ovlivňuje použitou technologii spalování.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Dřevní fytohmota se vyznačuje malým obsahem popelovin a vysokou teplotou tavení popela (1500 C). Obsah popela u dřevní hmoty je menší než 2 %, u dřevních peletek dokonce menší než 1 %. Výjimkou je kůra, která často obsahuje částice prachu vzniklé při těžbě a transportu dřeva, zde je obsah popela až 6 %. Pro porovnání s fosilními palivy, u černého uhlí tvoří obsah popela 10 až 15 %, u hnědého dokonce 10 až 30 %. Travniny a obiloviny mají nižší teplotu tavení než dřevní fytohmota. Z toho důvodu musí být spalovací zařízení speciálně konstrukčně uspořádáno tak, aby nedocházelo k napékání popela na roštu nebo na stěnách topeniště. Popel ze spalované fytohmoty má vysoký obsah živin a obsah těžkých kovů je zanedbatelný, takže ho lze použít jako hnojivo. [4]

5.3 Technologie využití biomasy

Energii z biomasy lze získat několika procesy, při kterých vznikají primární a odpadní produkty. Obecně rozlišujeme tři hlavní procesy:

- Termochemická konverze – jedná se o suchý proces, kam řadíme spalování, zplyňování a pyrolýzu. Primárními produkty termochemické konverze jsou u spalování teplo, u zplyňování generátorový bioplyn a u pyrolýzy syntézní plyn nebo biouhlí (u rychlé pyrolýzy je výsledným produktem pyrolýzní olej).
- Biochemická konverze – jedná se o mokré nebo suché procesy a řadíme mezi ně anaerobní, aerobní a alkoholovou fermentaci. Primárními produkty u jednotlivých procesů jsou bioplyn, teplo a bioetanol.
- Fyzikálně-chemická konverze – proces výroby metylesteru biooleje. [9]

V souvislosti s vytápěním rodinného domu nás zajímá termochemická konverze a především spalování a zplyňování (respektive zplyňování a následné spalování viz kapitola 5.5).

5.4 Technologie spalování biomasy

Spalování je složitý děj, který můžeme rozložit na několik fází: sušení, pyrolýza, spalování plynných složek a spalování pevných složek. V podstatě jde o to, že působením vysokých teplot se uvolňují hořlavé plynné složky – dřevoplyn. Pokud



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

k tomu dochází za přístupu vzduchu, jedná se o prosté spalování. Pokud vzduch při tomto procesu není přítomen, jedná se o zplyňování viz kapitola 5.5. [8]

U kotlů na biomasu se objevuje několik koncepcí přívodu paliva do kotle a řešení spalování.

Spalování na roštu

Roštové kotle mají dlouhou tradici, rošty mohou být pevné (zbytky po spalování skrz něj propadají do popelníku), nebo pohyblivé (pro usnadnění odvodu zbytků po spalování) podle výkonu a typu kotle. Princip spalování na roštu vychází z funkce roštu:

- zajištění přívodu spalovacího vzduchu do jednotlivých míst roštu, tak aby spalování probíhalo při optimálním přebytku vzduchu
- možnost postupného vysušení, zahřátí na zápalnou teplotu, hoření a dokonalé vyhoření paliva
- shromažďování tuhých zbytků po spalování popřípadě jejich odvod z ohniště
- možnost měnit výkon zařízení [9]

Spalování se spodním přívodem paliva

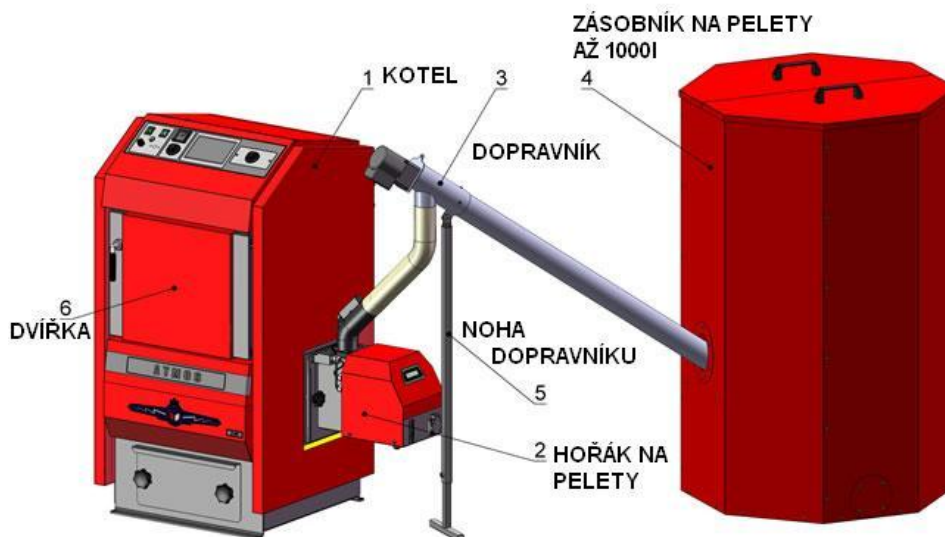
Principiálně se jedná o systém, kdy je palivo přiváděno pod hořící vrstvu. Systém musí být vybaven reflexním keramickým tělesem, které odráží tepelné záření hořící vrstvy a plamene zpět do ohniště a pomáhá tak při zapalování a stabilizaci hoření. Palivo je dopravováno pomocí šnekového dopravníku. Směr pohybu paliva je pomocí retorty a kolena převeden do vertikálního směru. Na retortu navazuje rošt, přičemž mezera mezi roštem a retortou dává prostor pro proudění spalovacího vzduchu.

Speciální hořáky, hořákové provedení

Hořáky na biomasu byly vyvinuty ve Švédsku a používají se pro spalování pelet. Jedná se o automatizované systémy vybavené šnekovým podavačem, který podává palivo do hořáku přes svodovou hadici (plní částečně funkci mezizásobníku). Hořák je vybaven čidlem pro zjištění množství paliva v hořáku a při signalizaci nedostatku paliva naplní podavač automaticky hořák a část hadice. Systém je též vybaven žhavicí spirálou pro automatické zapálení paliva. [9]

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Systém s kotlem, zásobníkem, dopravníkem a speciálním hořákem dokumentuje obrázek 7.



Obr. 7: Schéma kotle s hořákem a zásobníkem [9]

Spalování ve fluidní vrstvě

Spalování probíhá ve vzhledu, palivo je udržováno ve fluidním stavu prouděním vzduchu, kdy odpor proudícího média odpovídá tíze částic a hmota částic se chová jako kapalina. Používá se pro velké výkony (od 8 po stovky MW), proto nejsou pro uvažovaný objekt vhodné.

5.5 Spalovací zařízení

Ke spalování fytohmasy pro potřeby vytápění se dají použít buď lokální topeniště jako jsou např. krby a kamna, anebo kotle pro ústřední vytápění. Jelikož se mi v této bakalářské práci jedná o komplexní návrh vytápění, budu se dále zabývat kotli pro ústřední vytápění konkrétně teplovodními kotli. V zásadě je můžeme rozdělit na 3 typy.

Kotle s manuálním přikládáním

Patří mezi nejlevnější a nejpoužívanější zařízení ke spalování tuhých paliv. Využívají odhořivací nebo prohořivací systém. Kotel je tvořen velkoobjemovým ohništěm, do kterého se manuálně přikládá palivo, množství paliva se většinou volí co největší, aby kotel vydržel topit co nejdelší periodu. Nově přiložené palivo se postupně

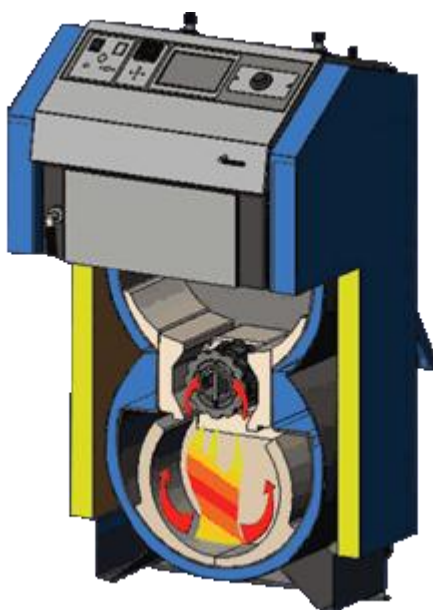
Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

zahřívá, vysušuje a poté dochází k uvolnění prchavé hořlaviny. Zapálení této hořlaviny představuje počátek hoření. Jelikož tento proces probíhá různou rychlostí (rychlost ovlivněna konstrukcí a kvalitou kotle), je ve fázi zapalování a počátku hoření v ohništi přebytek vzduchu, což vede k nedokonalému spalování – tvorbě škodlivin. [8]

Cena těchto kotlů se odvíjí od použitého materiálu, ze kterého je kotel vyroben. Obvykle se používá ocel nebo litina, přičemž litinové kotle jsou dražší. Dále je cena dána převážně výkonem kotle. Případné další příslušenství, jako jsou např. řídicí jednotky atd., se u tohoto typu kotlů příliš nevyužívá (princip spalování to nedovoluje). [10]

Zplyňovací kotle

Pracují jako generátory dřevoplynu, který je následně spalován. Jejich konstrukce je uspořádána tak, že vrchní část slouží jako zásobník paliva a spodní část jako spalovací komora a popelník. Mezi nimi je umístěna zplyňovací část, která je nazývána zplyňovací tryskou (roštěm) jak dokumentuje obrázek 8. Prostorové rozdělení zplyňovací a spalovací fáze umožňuje lepší řízení celého procesu a dosažení lepší účinnosti (85–90%). Tím, že jsou kotle vybaveny automatickým řízením, minimalizují se nároky na obsluhu, zůstává pouze občasné doplnění zásobníku a odstranění popele (cca 1–3× za den). [9]



Obr. 8: Zplyňovací kotel [9]



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Cena těchto kotlů je dána též výkonem, jako v předchozím případě, ale významnou část z celkové ceny tvoří použitá zplyňovací technologie a systém regulace. [10]

Automatické a automatizované kotle

Používají systém kontinuálního přívodu paliva do ohniště (hořáku). Automatické a automatizované kotle určené pro vytápění rodinných domů používají jako palivo nejčastěji dřevní pelety. Vlastní hoření pelet probíhá zpravidla v poměrně malém hořáku, jehož konstrukce značně ovlivňuje účinnost spalování. Dávkování pelet ze zásobníku do hořáku je řešeno pomocí šnekového mechanismu. Toto dávkování probíhá v součinnosti s regulačním systémem kotle tak, aby byla pokryta okamžitá potřeba tepla. Systém kotle se zásobníkem a šnekovým dopravníkem je zobrazen na obrázku 7 (viz kapitola 5.4). Rozdíl mezi automatickým a automatizovaným kotlem je takový, že automatizovaný kotel je oproti automatickému opatřen automatickým zapalováním a odvodem tuhých zbytků tudíž odpadá každodenní údržba. Automatická doprava paliva do kotle zajišťuje stabilitu spalovacího procesu, stabilitu požadovaného výkonu, vyšší účinnost (až 90 %), nízkou produkci škodlivin a komfort pro uživatele. Z těchto důvodů se tyto kotle stávají stále více oblíbenými. [9]

Cena automatických a automatizovaných kotlů je nejvyšší ze všech zmíněných kotlů a je dána především stupněm preciznosti automatizace provozu. [10]



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

6 Sluneční energie

Sluneční energie je nejbohatším energetickým zdrojem dostupným na Zemi. Vzhledem ke svému obrovskému potenciálu představuje nevyčerpatelný alternativní energetický zdroj. [3]

6.1 Možnosti technického využití energie slunečního záření:

Praktické využití solární energie lze rozdělit zhruba do čtyř skupin podle toho, k jaké přeměně sluneční energie v jinou užitečnou formu energie dochází:

- přeměna slunečního záření na teplo,
- přeměna na mechanickou energii,
- přeměna na elektrickou energii,
- přeměna na chemickou energii. [11]

Potřebám této bakalářské práce odpovídá energetická přeměna slunečního záření na teplo. K přeměně sluneční energie na teplo se používají solární systémy. Ty můžeme rozdělit na pasivní a aktivní. Pasivní systémy jsou vhodné zejména u nových staveb (respektive u projektů nových staveb). Jedná se o systémy skleněných přístavků (verandy, zimní zahrady atd.), které jsou spojeny s kvalitními tepelnými izolacemi. Tyto systémy se v současné době rozvíjejí a jsou zajímavým řešením do budoucna, nemohou však pokrýt veškerou potřebu tepla pro vytápění klasických staveb. Přijatelnějšími systémy pro náš objekt jsou aktivní systémy.

6.1 Aktivní solární systémy

Jsou takové systémy, které k přeměně sluneční energie na teplo a jeho následnému rozvodu využívají soustavu zařízení. Aktivní systémy se skládají z těchto hlavních částí: solární kolektor, solární zásobník, transportní systém, regulační zařízení.

6.1.1 Solární kolektor

Je základní a nejdůležitější částí solárního systému, slouží k zachycování sluneční energie a následné přeměně této energie na tepelnou energii. Ta je předávána



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

teplonosné kapalině protékané kolektorem. Solární kolektor je sestaven z dílčích prvků, které mohou svými parametry významně ovlivňovat jeho zisky.

Zasklení

Omezuje jednak tepelné ztráty sáláním a zároveň vytváří před absorberem vzduchovou vrstvu, která slouží ke snížení ztrát konvekcí. Dokonalého snížení ztrát konvekcí i kondukcí, se dá dosáhnout odsátím vzduchu z okolí absorberu, toto řešení se používá u tzv. vakuových kolektorů viz dále. Pro omezení ztrát odrazem se na sklo aplikuje materiál s velmi nízkým indexem lomu, tzv. antireflexní povlak. V praxi se též můžeme setkat s pojmem antireflexní sklo.

Absorbér

Slouží k přímé přeměně slunečního záření na teplo. Je vyroben z materiálu s velmi dobrou vodivostí. Na spodní straně absorberu musí být zařízení na odvod tepla (trubkový registr). Pohlcováním sluneční energie zvyšuje absorber svou teplotu vůči okolí a vznikají ztráty sáláním. Tyto ztráty můžeme výrazně snížit použitím selektivního materiálu. Zjednodušeně lze říct, že selektivní povrch se v oblasti viditelného a blízkého infračerveného záření chová jako černý povrch (pohlcuje velkou část slunečního záření), ale v dlouhovlnné infračervené oblasti spektra se chová jako kovově lesklý povrch. Selektivní povrch je většinou tvořen velmi tenkou vrstvičkou, která se aplikuje např. galvanickým pokovením.

Trubkový registr

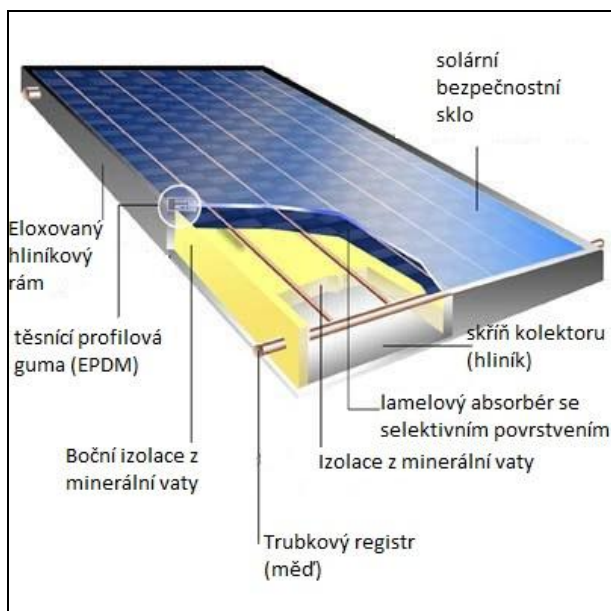
Je síť potrubí sloužící k odvodu tepla z absorberu. Pomocí proudící kapaliny předává toto teplo výměníku.

Skříň kolektoru

Tvoří jakýsi vnější obal solárního kolektoru a zároveň nosnou konstrukci, ke které jsou uchyceny jednotlivé části solárního kolektoru (zasklení, absorber s trubkovým registrem atd.). Může být tvořena samonosným rámem nebo výliskem ve formě vany. Jako izolace se nejčastěji používá minerální vlna. [4]

Dílčí prvky solárního kolektoru dokumentuje obrázek 9.

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu



Obr. 9: Základní součásti solárního kolektoru [12]

Solární kolektory můžeme dělit podle různých kritérií, ale základní rozdělení je na ploché a koncentrující kolektory. U plochých kolektorů je absorpční plocha stejně velká jako čelní plocha, kterou procházejí sluneční paprsky. U Koncentrujících kolektorů je absorbér menší než čelní plocha, kterou procházejí paprsky a vstupující záření je na něj soustředěno čočkou nebo zrcadlem. Tyto systémy jsou díky použité optice oproti plochým kolektorům drahé, ale dosahují lepší účinnosti. Při použití solárních kolektorů pro ohřev teplé užitkové vody se nejčastěji setkáme s těmito typy solárních kolektorů. [3, 11]

Ploché kolektory se selektivním povrchem

Tyto kolektory mají hliníkový nebo měděný absorbér opatřený selektivní vrstvou pro omezení ztrát sáláním. Jedná se o nejrozšířenější kolektory s nízkými pořizovacími náklady a relativně dobrou účinností.

Trubicové vakuové kolektory

Jsou kolektory skládající se z trubic v nichž je umístěn absorbér se selektivní vrstvou. Trubicové kolektory dosahují kombinací vakuové izolace a selektivním povrchem, extrémně nízkých tepelných ztrát i při vysokých rozdílech teplot mezi absorbérem a okolím. Tyto kolektory mají nejvyšší účinnost, ale zároveň nejvyšší pořizovací náklady.

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

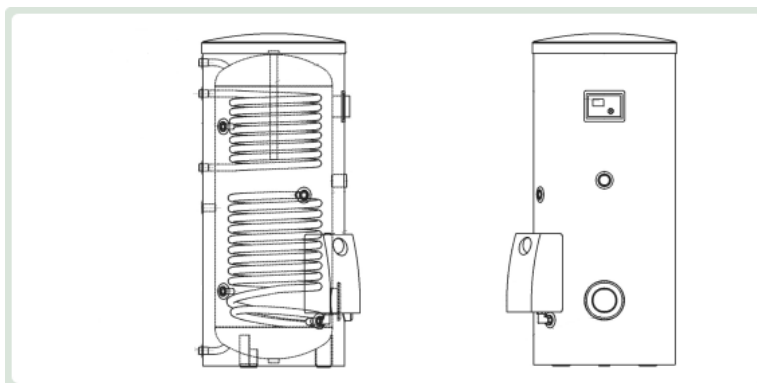
Ploché vakuové kolektory

Jsou ploché kolektory využívající sníženého tlaku v prostoru skříně kolektoru. Vakuum se udržuje vývěvou, která je automaticky spínána. Mají nízké ztráty a nižší pořizovací náklady než trubkové kolektory. Jedná se o nejmodernější a nejprogresivnější kolektory.

6.1.2 Solární zásobník

Někdy také označován jako akumulční nádrž, slouží k uchování ohřáté vody na dobu, kdy ji budeme potřebovat. Nejčastěji se jako zásobník používá ocelová nádrž naplněna vodou a opatřena izolací. Jelikož je v našich podmínkách nutné používat pro celoroční provoz kolektorů nemrznoucí směs, musí být solární zásobník vybaven tepelným výměníkem. Solární výměník musí mít dostatečně velkou teplosměnnou plochu, aby na něm spád teploty byl co nejmenší. Zásobníky mohou být tlakové a beztlakové. V tlakových zásobnících se ohřívá přímo vodovodní voda (takže musí vydržet tlak vodovodního řádu, tj. asi 6 atmosfér). Tyto zásobníky se používají nejčastěji. Beztlakové zásobníky se někdy používají u velkých zásobníků, protože jsou levnější a lehčí. V případě použití beztlakového zásobníku je potřeba použít další výměník tepla, abychom docílili lepšího tepelného spádu. V době nedostatečného slunečního svitu je třeba dohřívát vodu nějakým jiným zdrojem tepla. To můžeme zajistit přidáním topné spirály do zásobníku a nebo v případě, že vytápíme např. kotlem, přidáním dalšího výměníku a pak se jedná o tzv. bivalentní zásobník. [11]

Příklad bivalentního solárního zásobníku dokumentuje obrázek 11.



Obr. 10: Řez bivalentním zásobníkem [13]



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

6.1.3 Transportní systém

Skládá se z řady dílčích prvků: z potrubí, čerpadla, ventilů a zpětné klapky, popř. vodoměrů. Při řešení hnací jednotky (čerpadla) je doporučeno zapojení duplex. To obsahuje dvě čerpadla. Při poruše jednoho čerpadla automaticky naběhne druhé a regulační systém vydává poruchové hlášení, které upozorní na nutnost opravy. Systém duplex sníží riziko přehřátí systému při výpadku čerpadla a tím i poškození např. kolektorů. Nejčastěji se používá měděné potrubí z toho důvodu, že trubky absorbéru jsou také měděné. Jako teplotnosná kapalina je použita nemrznoucí směs. Zde je doporučeno doplnit systém o havarijní nádrž do které můžeme v případě nutnosti (porucha) vypustit kapalinu. Hlavně proto, že nemrznoucí směs bývá ekologicky závadná. Po odstranění poruchy směs znovu přečerpáme do systému.

6.1.4 Regulační zařízení pro solární systém

Základní funkcí elektronické regulace je uvést do chodu solární hnací jednotku (čerpadlo), v případě vyhodnocení teplotního rozdílu mezi kolektorovou plochou a solárním zásobníkem s TUV. Nejčastěji se používá jednoduchý diferenční regulátor teploty se dvěma čidly. Jedno čidlo je umístěno na výstupu a druhé uvnitř solárního zásobníku. Pro snížení počtu zapínání a vypínání se používá hystereze. Regulátory jsou dále vybaveny různými bezpečnostními funkcemi např. ochrana před přehřátím zásobníku, měření tepla dodaného solárního systému apod. V případě použití regulátorů např. v pasivních domech, kde jsou solární systémy využity i k přitápění se používají sofistikovanější regulátory, které umí regulovat i další zdroje tepla a lze je propojit s počítačem. [11]



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

7 Ekonomika variant vytápění zvoleného objektu

Pro porovnání jednotlivých systémů vytápění rodinného domu je potřeba zvolit referenční investici, se kterou budeme uvažované systémy porovnávat. Pro větší objektivnost práce jsem zvolil dvě referenční investice, kotel na zemní plyn a elektrokotel. Rozvodná soustava plynu v České republice neumožňuje připojení každého zájemce. V některých případech je nejbližší přípojný místo tak daleko, že se náklady na plynovou přípojku ekonomicky nezhodnotí. Je-li rodinný dům odkázán pouze na vytápění elektrickou energií, dostáváme se ekonomicky do úplně jiné situace. Cena 1 kWh získané z plynu je totiž výrazně nižší než cena za 1 kWh elektrické energie. Otopná tělesa použitá ve zvoleném objektu, popsaná v kapitole 2, jsou stejná pro všechny navrhované zdroje vytápění. Proto jejich cenu do výpočtů nezahrnuji. Do analýzy jednotlivých zdrojů vytápění jsem zařadil nákladové položky, kterými se jednotlivé systémy liší. Člením je na náklady pořízení a provozní náklady. Pro objektivní porovnání se solárními systémy jsou v analýze zahrnuty i náklady spojené s ohřevem teplé užitkové vody (TUV). Tyto výdaje sice do nákladů na vytápění nepatří, ale nepřímě s nimi souvisejí, protože navrhované zdroje vytápění většinou umožňují i ohřev teplé vody.

Před samotným výpočtem provozních nákladů jsem si určil roční potřebu tepla pro daný objekt.

7.1 Určení roční potřeby tepla pro daný objekt

K určení roční potřeby tepla jsem použil internetový výpočtový nástroj [14]. Pro vyčíslení potřeby tepla na vytápění je ve výpočtovém nástroji použit následující vzorec:

$$Q_{v,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_0 \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \quad [kWh/rok] \quad (\text{rovnice 2})$$

kde ε je opravný součinitel vycházející ze vztahu:

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d$$

e_i – je součinitel vyjadřující nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací, volí se v rozmezí 0,8 až 0,9.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

et – součinitel vyjadřující snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci, volí se v rozmezí 0,9 až 1,0.

ed – součinitel zkrácení doby vytápění v objektu, volí se v rozmezí 0,8 pro budovy s pětidenním provozem až 1 pro sedmidenní provoz.

η_0 – účinnost obsluhy, respektive možnosti regulace soustavy, volí se v rozmezí 0,9 pro kotelnu na pevná paliva až 1 pro plynovou kotelnu s automatickou regulací

η_r – účinnost rozvodu vytápění, volí se v rozmezí 0,95 až 0,95 podle provedení

D – počet denostupňů vycházející ze vztahu: $D = d \cdot (tis - tes)$

d – délka topného období (závislá na lokalitě)

tis – průměrná vnitřní výpočtová teplota, pohybuje se v rozmezí 18,2 až 19,1 °C

tes , te – průměrná venkovní teplota během otopného období a venkovní výpočtová teplota (závislé na lokalitě)

Q_c – tepelná ztráta objektu

Do výpočtového nástroje jsem zadal tepelnou ztrátu objektu 17 kW. Jako lokalitu jsem zvolil město Jičín, protože město Rovensko pod Troskami nebylo v seznamu uvedeno. Po zadání lokality se automaticky vyplnily parametry, které s lokalitou souvisejí, tedy te , tes a d . Průměrnou vnitřní teplotu jsem nastavil na 19 °C. Hodnoty opravných součinitelů jsem ponechal ve výchozích hodnotách, protože odpovídaly parametrům novostaveb. Celková roční potřeba tepla pro vytápění tedy je: $Q_{v,r} = 35\,900 \text{ kWh/rok} = 35,9 \text{ MWh/rok} = 129,4 \text{ GJ/rok}$

Pro výpočet roční potřeby tepla na ohřev teplé vody je ve výpočtovém nástroji použit následující vzorec:

$$Q_{tuv,r} = Q_{tuv,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{tuv,d} \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \text{ [Wh/rok]} \quad (\text{rovnice 4})$$

N – Počet pracovních dní soustavy v roce

t_{svl} – teplota studené vody v létě (závislá na lokalitě)

t_{svz} – teplota studené vody v zimě (závislá na lokalitě)



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

$Q_{tuv,d}$ – je denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{tuv,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600}$$

z – koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody, pro nové stavby se volí $z = \max. 0,5$

t_2 – teplota studené vody volí se většinou $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

t_1 – teplota ohřáté vody volí se většinou $55\text{ }^{\circ}\text{C}$

V_{2p} – celková potřeba teplé vody za 1 den, uvažujeme $0,050\text{ m}^3/\text{osobu}$ na 1 den

ρ – měrná hmotnost vody [1000 kg/m^3]

c – měrná tepelná kapacita vody [$4\,186\text{ J/kg K}$]

Při zadávání hodnot jsem postupoval obdobně jako v předchozím případě, po zadání lokality se vyplnily parametry závislé na lokalitě, tedy t_{svl} a t_{svz} . Celkovou potřebu teplé vody na 1 den V_{2p} jsem zvolil na $0,200\text{ m}^3/\text{den}$, což odpovídá podle nových norem množství vody pro 4 osoby (předpokládaný počet osob obývajících daný objekt). Koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody z jsem stanovil na $0,35$, protože se jedná o novou stavbu. Rozvody jsou z materiálu PPR a jsou dobře izolované. Celková potřeba tepla na ohřev TUV tedy je:

$$Q_{tuv,r} = 4500\text{ kWh/rok} = 4,5\text{ MWh/rok} = 16,2\text{ GJ/rok}$$

7.2 Vytápění pomocí kotle na zemní plyn

Jak už jsem zmínil v kapitole 2, v rodinném domě je již instalovaný plynový kondenzační kotel značky Buderus, typ GB122-24K. Tento kotel umožňuje vytápění i ohřev TUV. Jeho technické parametry jsou následující:

- jmenovitý tepelný příkon je 9 až 23 kW
- jmenovitý tepelný výkon při teplotním spádu (od 40 % do 100 %) pro teplotní spád $75/60\text{ }^{\circ}\text{C}$ je 8,6 až 22 kW, pro teplotní spád $40/30\text{ }^{\circ}\text{C}$ je 9,7 až 24 kW



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

- stupeň účinnosti kotle při tepelném spádu 75/60 °C je 95 %, při tepelném spádu 40/30 °C je stupeň účinnosti 104 %
- nastavitelná teplota užitkové vody je 40 až 60 °C

7.2.1 Pořizovací náklady

Určení pořizovacích nákladů vyžaduje posouzení konkrétního projektu rodinného domu. V rodinném domě posuzovaném v této bakalářské práci byl projektantem navržen komínový systém, který neslouží jen pro plynový kotel, ale je využíván k odvodu z digestoře, z krbových kamen a obsahuje rezervní průduchy pro další možná využití. Proto nezahrnuji do pořizovacích nákladů cenu výstavby komínu, ale pouze cenu za jeho vyvložkování. Při použití kondenzačního kotle dochází v prostoru komínového tělesa ke kondenzaci vody, proto je potřeba komín vyvložkovat. To umožní odvod kondenzátu do kanalizace. Stanovení nákladů na zhotovení přípojky a rozvodu plynu je také relativní, protože je plyn využíván i na vaření. Tento faktor jsem pominul a počítám kompletní náklady na jejich zhotovení. Do pořizovacích nákladů jsem zahrnul:

- cena projektu: 25.000 Kč
- náklady na přípojku plynu: 30.000 Kč
- rozvod plynu v rodinném domě včetně připojení k HUP: 25.000 Kč
- pořizovací cena kotle: 50.000 Kč
- montážní práce včetně připojení kotle: 4.500 Kč
- plynová revize: 1.000 Kč
- kolaudační revize komínu: 1.200 Kč
- kolaudační revize elektro: 1.000 Kč
- vyvložkování komínu včetně práce (8 m): $8 \times 1000 = 8000$ Kč
- pořizovací náklady celkem (po zaokrouhlení) : 146.000 Kč



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

7.2.2 Provozní náklady

Při výpočtu provozních nákladů jsem vycházel z roční potřeby tepla pro rodinný dům (výpočet viz kapitola 7.1). Při stanovení účinnosti kotle jsem uvažoval teplotní spád otopné soustavy posuzovaného objektu 55/45 °C. V technických parametrech kotle jsou uvedeny hodnoty účinnosti pro teplotní spád 75/60 °C (95 %) a pro teplotní spád 45/35 °C (104 %). Po konzultaci s odborníkem v oboru jsem stanovil průměrnou roční účinnost kotle na 98 % pro vytápění a na 95 % pro ohřev TUV. Spotřebu plynu vypočteme ze vztahu:

$$p = \frac{Q_v}{\eta} [MWh/rok] \quad (\text{rovnice 4})$$

kde Q_v je roční potřeba tepla a η je účinnost kotle. Po dosazení do vztahu nám vyjde předpokládaná roční spotřeba plynu

pro vytápění:

$$p_v = \frac{35,9}{0,98} = 36,633 [MWh/rok] = 36\,633 [kWh/rok]$$

pro ohřev TUV:

$$p_o = \frac{4,5}{0,95} = 4,737 [MWh/rok] = 4\,737 [kWh/rok]$$

Pro distribuci plynu jsem zvolil společnost RWE. Podle roční spotřeby plynu jsem z ceníku dostupného na adrese [15] vybral odpovídající tarif: topím nad 40 000 kWh/rok do 45 000 kWh/rok. Celková suma je dána cenou za odebraný plyn a cenou za stálé měsíční platby. Měsíční platby se skládají z poplatku za pronájem plynoměru a z poplatku za výši rezervované kapacity. Pro zvolený tarif je cena za 1 kWh odebraného plynu 1,52425 Kč. Poplatek za stálé měsíční platby činí 381,08 Kč. Dále do provozních nákladů zahrnuji cenu za revizi a čištění komínu. Od začátku roku 2011 je zákonem stanovena povinná roční revize komínu. Tuto cenu jsem po konzultaci s odbornou firmou stanovil na 1.000 Kč. K tomu je nutné započítat poplatek 700 Kč (konzultováno se servisním technikem) za preventivní prohlídku a vyčištění kotle jednou za rok.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Kalkulace provozních nákladů

Náklady na vytápění

Při kalkulaci nákladů na vytápění plynovým kotlem jsem vycházel z vypočtené roční spotřeby plynu na vytápění: 36 630 kWh/rok a z ceny za 1 kWh odebraného plynu: 1,52425 Kč. Náklady na vytápění plynovým kotlem tedy činily

$$36\,630 \times 1,52425 = 55.838 \text{ Kč/rok}$$

Náklady na ohřev TUV

Při kalkulaci nákladů na ohřev TUV plynovým kotlem jsem vycházel z vypočtené roční spotřeby plynu na ohřev TUV: 4 734 kWh/rok a z ceny za 1 kWh odebraného plynu: 1,52425 Kč. Náklady na ohřev TUV plynovým kotlem tedy činily

$$4\,737 \times 1,52425 = 7.220 \text{ Kč/rok.}$$

Paušální poplatky

Cena za stálé měsíční platby byla 381,08 Kč. Roční náklady za paušální poplatky činily

$$12 \times 381,08 \text{ Kč} = 4.573 \text{ Kč/rok.}$$

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul platbu za revizi komínu a to 1000 Kč/rok a náklady na údržbu kotle: 700 Kč/rok. Ostatní náklady související s provozem kotle na zemní plyn tedy činí celkem 1.700 Kč/rok.

Přehled jednotlivých položek kalkulace provozních nákladů plynového kotle uvádí tabulka 4.

Tab. 4: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu plynem

Roční provozní náklady kotle na zemní plyn [Kč]	
vytápění	55 838
příprava TUV	7 220
paušální poplatky	4 573
ostatní náklady (revize komínu)	1 700
celkem	69 330



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Celkové roční náklady provozu plynového kotle jsou odhadovány na 69.330 Kč.

7.3 Vytápění pomocí elektrokotle

Pro vytápění vybraného objektu elektrickou energií jsem zvolil závěsný kotel značky Protherm typ RAY 24 K. Tento kotel jsem vybral proto, že má srovnatelný výkon s plynovým kotlem. Pro ohřev TUV je kotel nutné doplnit externím zásobníkem. Technické parametry elektrokotle jsou následující:

- tepelný výkon 2 až 24 kW
- účinnost 99,5 %
- napájecí napětí 3×230/400 V
- jmenovitý proud jističe 40 A
- Ohřev je zajištěn pomocí čtyř topných článků o výkonu 6 kW

7.3.1 Pořizovací náklady

Do pořizovacích nákladů jsem kromě ceny elektrokotle a zásobníku zahrnul výdaje na zhotovení elektroměrové rozvodnice včetně jištění. Dále navýšení ceny hlavního domovního rozvaděče o jištění a elektrorozvody pro napájení a ovládání kotle.

Do pořizovacích nákladů jsem nezahrnul cenu hlavního přívodu pro objekt. Minimální přívod pro rodinný dům je kabel CYKY o průřezu 10 mm², který má maximální proudovou zatížitelnost 60A. Tato hodnota pokryje potřebu elektrické energie pro provoz rodinného domu i kotle. Konkrétní pořizovací náklady tvoří tyto položky:

- Cena projektu: 25.000 Kč
- sestava elektrokotle RAY + 60l zásobník TV + kryt propojení: 42.120 Kč
- navýšení ceny elektroměrové rozvodnice: 3.000 Kč
- navýšení hlavního domovního rozvaděče: 5.000 Kč
- elektrorozvody pro napájení a ovládání kotle: 7.000 Kč
- montážní práce a připojení elektrokotle: 1.500 Kč



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

- elektrorevize: 1.000 Kč
- pořizovací náklady celkem (po zaokrouhlení): 85.000 Kč

7.3.2 Provozní náklady

Při stanovení provozních nákladů jsem postupoval obdobně jako u kotle na zemní plyn. Spotřebu elektrické energie jsem vypočetl pomocí rovnice 4. Průměrnou účinnost kotle jsem stanovil na 99 % jak na vytápění, tak na ohřev TUV. Výrobce sice udává účinnost 99,5 %, ale zohledňuji budoucí zanesení elektrod, proto jsem průměrnou roční účinnost nepatrně snížil. Po dosazení do rovnice 4 nám vyjde roční spotřeba elektrické energie

pro vytápění:

$$p_v = \frac{35,9}{0,99} = 36,263 \text{ [MWh / rok]}$$

pro ohřev TUV:

$$p_o = \frac{4,5}{0,99} = 4,545 \text{ [MWh / rok]}$$

Jako distributora elektrické energie jsem zvolil pro všechny navrhované systémy objektu, které využívají elektrickou energii k vytápění, společnost ČEZ. Při použití elektrické energie k vytápění se vždy volí dvoutarifní sazba, kde VT je vysoký tarif a NT je nízký tarif. Rozložení trvání vysokého a nízkého tarifu během dne si řídí dodavatel energie pomocí HDO (hromadné dálkové ovládání). Výsledná cena elektrické energie se skládá z několika položek, ale obecně ji lze rozdělit na měsíční platby a cenu za 1 MWh. Měsíční platby se skládají z platby za rezervovaný příkon (dle jmenovitého proudu jističe před elektroměrem) a platby za silovou elektřinu. Z ceníku společnosti ČEZ [16] jsem vybral příslušnou sazbu. Vytápění pomocí elektrokotle spadá pod sazbu D45d (Přímotop), kde nízký tarif platí po dobu 20 hodin a vysoký tarif platí po dobu 4 hodin. Pro sazbu D45d (přímotop) je cena za 1 MWh pro NT 2.606,59 Kč a pro VT 3.182 Kč. Velikost jističe jsem vybral nad 3×40 A do 3×50 A včetně. Měsíční cena za rezervovaný příkon pro tento jistič a sazbu D45d je 720 Kč, měsíční cena za silovou



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

elektrinu je pro všechny sazby stejná a činní 60 Kč. Při výpočtu nákladů na provoz elektrokotle jsem uvažoval, že kotel bude v provozu pouze v době trvání NT.

Kalkulace provozních nákladů

Náklady na vytápění

Při kalkulaci nákladů na vytápění elektrokotlem jsem vycházel z vypočtené roční spotřeby el. energie na vytápění: 36,263 MWh/rok a z ceny za 1 MWh elektrické energie v NT (nizkém tarifu): 2.606,59 Kč. Náklady na vytápění elektrokotlem činily

$$36,263 \times 2\,606,59 = 94.523 \text{ Kč/rok}$$

Náklady na ohřev TUV

Při kalkulaci nákladů na ohřev TUV elektrokotlem jsem vycházel z vypočtené roční spotřeby el. energie na ohřev TUV: 4,545 MWh a z ceny za 1 MWh elektrické energie v NT (nizkém tarifu): 2.606,59 Kč. Náklady na ohřev TUV elektrokotlem činily

$$4,545 \times 2\,606,59 = 11.847 \text{ Kč/rok}$$

Náklady za paušální poplatky

Cena za stálé měsíční platby se skládala z poplatku za rezervovaný příkon: 720 Kč a z ceny za silovou elektrinu: 60 Kč. Roční náklady za paušální poplatky činily

$$12 \times (720+60) \text{ Kč} = 9.360 \text{ Kč /rok.}$$

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul výdaje za údržbu kotle 500 Kč/rok.

Přehled jednotlivých položek kalkulace provozních nákladů plynového kotle uvádí tabulka 5.

Tab. 5: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu el. energií

Roční provozní náklady elektrokotle [Kč]	
Vytápění	94 523
příprava TUV	11 847
paušální poplatky	9 360
ostatní náklady	500
celkem	116 230



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Celkové roční náklady provozu elektrokotle činí 116.230 Kč.

7.4 Vytápění pomocí TČ vzduch-voda

Při výběru vhodného tepelného čerpadla pro zvolený objekt jsem kontaktoval firmu Master Therm, která mi po zaslání základních informací o objektu sestavila nezávaznou nabídku na všechny uvažované systémy tepelných čerpadel. Nabídka pro systém vzduch-voda obsahovala kompaktní venkovní tepelné čerpadlo typ BoxAir – 45Z. Technické parametry tohoto tepelného čerpadla jsou následující:

- výkon / příkon / topný faktor při A7W50 (při teplotě 7 °C na vstupu a při teplotě 50 °C na výstupu tepelného čerpadla) jsou 17,1 kW / 5,5 kW / 3,1
- vestavěný elektrokotel o výkonu 15 kW
- ventilátor s plynulou regulací otáček o příkonu 0,2 kW
- kompresor scroll Sanyo (3×400 V, maximální provozní proud 14,1 A)
- obsah chladiva 3 kg
- nerezové provedení pro venkovní umístění

7.4.1 Pořizovací náklady

Při stanovení pořizovacích nákladů jsem vycházel z cenové nabídky sestavené firmou Úsporné vytápění s.r.o. Kompletní cenovou nabídku uvádí příloha A. Doplnil jsem ji o položku prováděcí projekt strojovny. Pro orientaci uvádím ceny hlavních položek (včetně snížené sazby DPH), ze kterých se nabídka skládá:

- tepelné čerpadlo + akumulční zásobník + modul ON/OFF : 199.326 Kč
- ostatní materiál: 2.508 Kč
- montáž strojovny: 39.786 Kč
- montáž elektroinstalace: 10.146 Kč
- prováděcí projekt strojovny: 5.700 Kč
- celkem: 258.000 Kč



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

7.4.2 Provozní náklady

Při výpočtu provozních nákladů jsem použil výpočtový nástroj pro hodnocení soustav s tepelnými čerpadly, dostupný na stránce [17]. Tento výpočtový nástroj vznikl v rámci Operačního programu Životního prostředí a slouží jako pomůcka pro posuzovatele soustav s tepelnými čerpadly. Při jeho používání jsem objevil, že program nezahrnuje do výpočtu hodnotu příkonu pomocných zařízení TČ. Po mém upozornění byla tato chyba správcem programu opravena. Výpočtový nástroj se skládá z následujících částí.

Klimatické podmínky

V této části se zadávají klimatické podmínky pro zvolenou lokalitu. Obdobně jako při výpočtu roční měrné teploty jsem zvolil lokalitu město Jičín. Dále jsem z tabulkových údajů a ze stránek Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) [18] zjistil a do výpočtového nástroje zadal následující hodnoty:

- výpočtová venkovní teplota: -15 °C (tabulková hodnota)
- průměrná venkovní teplota v otopném období: $3,9\text{ °C}$ (tab. hodnota)
- doba trvání otopného období: 234 dní (tab. hodnota)
- celoroční venkovní teplota: 8 °C (průměrná venkovní teplota za posledních 5 let v libereckém kraji určena ze stránek ČHMÚ) [18]

Vytápění / otopná soustava

V této části se zadávají parametry týkající se vytápění a otopné soustavy. Vycházel jsem zde z roční potřeby tepla vypočtené v kapitole 7.1. Při zadávání parametrů týkajících se otopné soustavy jsem z důvodu zhodnocení faktu, že tepelné čerpadlo dosahuje nejlepších výsledků při co nejnižší teplotě na výstupu, sestavil 2 projekty. Jeden s radiátory, s teplotou vratné vody 45 °C a druhý např. s podlahovým vytápěním, s teplotou vratné vody 35 °C . Do výpočtového nástroje jsem zadal následující parametry:

- roční potřeba tepla na vytápění: 35 900 kWh/rok
- výpočtová vnitřní teplota: 20 °C



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

- průměrná vnitřní teplota v otopném období: 18 °C
- návrhová teplota přívodní otopné vody: 55 °C pro radiátory a 45 °C pro podlahové vytápění
- návrhová teplota vratné otopné vody: 45 °C pro radiátory a 35 °C pro podlahové vytápění
- teplotní exponent otopných těles: 1,3 pro radiátory, 1,1 pro podlahové vytápění
- příkon pomocných zařízení pro vytápění: 100 W (příkon oběhového čerpadla)

Příprava teplé vody

V této části jsem vycházel z roční potřeby tepla pro ohřev TUV. Do výpočtového nástroje jsem zadal tyto parametry:

- roční potřeba tepla na přípravu teplé vody: 4 500 kWh
- návrhová teplota topné vody: 55 °C
- příkon pomocných zařízení: 100 W (příkon cirkulačního čerpadla)

Tepelné čerpadlo

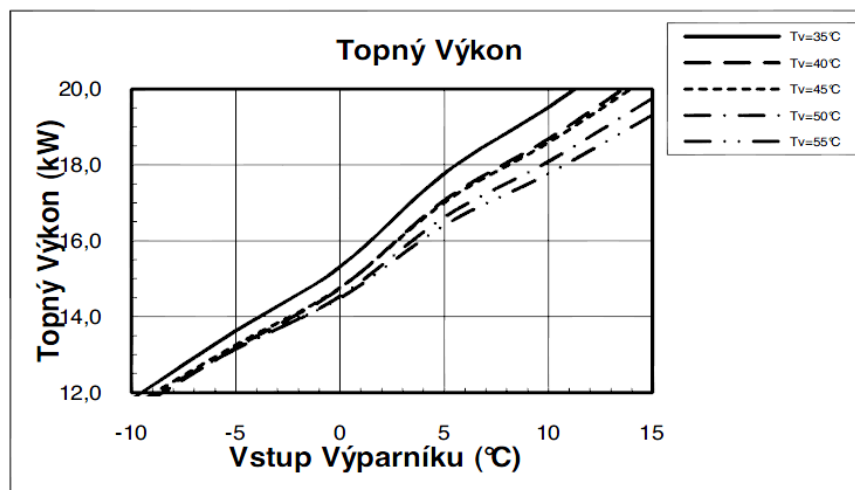
V této části se zadávají parametry týkající se tepelného čerpadla. Vycházel jsem z katalogových údajů firmy Master Therm. Pro zadávání parametrů topný výkon a topný faktor jsem vycházel z křivek uvedených v katalogu, které jsou stanoveny za definovaných podmínek (vstup teploty látky do výparníku, výstup teploty látky z kondenzátoru). Do výpočtového nástroje jsem zadal následující parametry:

- druh tepelného čerpadla: vzduch-voda
- příkon pomocných zařízení nízkopotenciálového zdroje tepla: 200 W (katalogová hodnota příkonu ventilátoru TČ)
- minimální počet hodnot podle normovaného měření: 10 (dáno druhem tepelného čerpadla, u tepelného čerpadla země- voda minimálně 6 hodnot u vzduch-voda minimálně 10 hodnot)

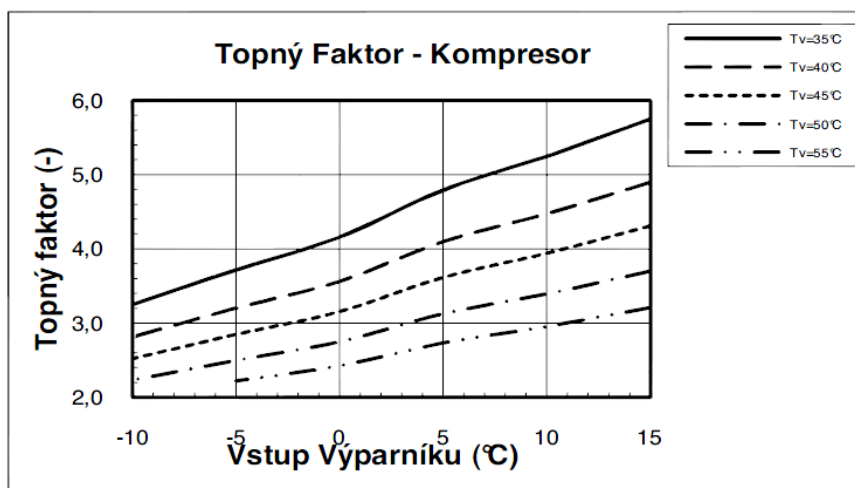
Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

- výkon tepelného čerpadla a topný faktor jsem zadal podle křivek topného výkonu a topného faktoru uvedených v katalogu pro dané tepelné čerpadlo.

Tyto křivky dokumentují obrázky 11 a 12.



Obr. 11: Křivka topného výkonu tepelného čerpadla vzduch-voda



Obr. 12: Křivka topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

Zadané hodnoty do výpočtového nástroje odečtené z uvedených křivek jsou uvedeny v tabulce 6 a 7.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Tab. 6: Zadané hodnoty výkonů tepelného čerpadla

$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-10	-5	0	5
35	11,8	13,6	15,2	17,7
45	11,3	13,2	14,6	17,0
55		13,0	14,6	16,5

Tab. 7: Zadané hodnoty topných faktorů tepelného čerpadla

$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-10	-5	0	5
35	3,3	3,7	4,2	4,8
45	2,5	2,8	3,2	3,6
55		2,2	2,4	2,7

Výsledky vyhodnocené výpočtovým nástrojem

Po zadání uvedených hodnot výpočtový nástroj provede vyhodnocení výsledků. Z tohoto vyhodnocení můžeme zjistit například, jaká je roční potřeba elektrické energie tepelného čerpadla, kolik tepla tepelné čerpadlo do soustavy dodalo, kolik tepla do soustavy dodal doplňkový zdroj (elektrokotel), jak dlouho bylo tepelné čerpadlo v provozu a další údaje. Kompletní přehled zadaných a vypočtených hodnot je uveden v příloze na CD.

Přehled roční potřeby elektrické energie TČ systému vzduch-voda uvádí tabulka 8.

Tab. 8: Přehled roční potřeby elektrické energie TČ vzduch-voda

		teplota vratné vody 45 °C	teplota vratné vody 35 °C
Hnací energie TČ [kWh/rok]	na vytápění	12 047	9 638
	na přípravu TUV	2 017	2 017
Energie doplň. zdroje [kWh/rok]	na vytápění	308	254
	na přípravu TUV	0	0
Pomocná el. energie [kWh/rok]	na vytápění	716	702
	na přípravu TUV	81	81
Celková el. energie [kWh/rok]	na vytápění	13 071	10 594
	na přípravu TUV	2 098	2 098



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Vytápění tepelnými čerpadly spadá pod sazbu D56d (Tepelné čerpadlo), kde cena za 1 MWh v NT (nizkém tarifu) je 2.607,79 Kč. Doba trvání nízkého tarifu je 22 hodin za den. Velikost jističe jsem zvolil stejnou jako u elektrokotle.

Měsíční platba za rezervovaný příkon pro sazbu D56d a zvolený jistič je 720 Kč. Měsíční poplatek za silovou elektřinu je 60 Kč.

Kalkulace provozních nákladů

Při kalkulaci provozních nákladů tepelného čerpadla jsem vycházel z výsledků výpočtového nástroje uvedených v tabulce 8. Ve výpočtovém nástroji jsem použil dva systémy otopných těles, a to radiátory (teplota vratné vody 45 °C) a podlahové vytápění (teplota vratné vody 35 °C).

Varianta 1: Provozní náklady s použitím radiátorů

Náklady na vytápění

Při kalkulaci nákladů na vytápění jsem vycházel z položek v tabulce 8, které spadaly pod označení „na vytápění“. Tedy z hnací energie TČ 12 047 kWh/rok, z energie doplňkového zdroje 308 kWh/rok, z pomocné elektrické energie 716 kWh/rok a z ceny za 1 kWh odebrané el. energie v NT 2,6078 Kč. Náklady na vytápění TČ činily celkem

$$(12\,047 + 308 + 716) \times 2,6078 = 34.086 \text{ Kč/rok.}$$

Náklady na ohřev TUV

Při kalkulaci nákladů na ohřev TUV jsem vycházel z položek v tabulce 8, které spadaly pod označení „na přípravu TUV“. Tedy z hnací energie TČ 2 017 kWh/rok, energie doplňkového zdroje 0 kWh/rok, pomocné elektrické energie 81 kWh/rok a z ceny za 1 kWh odebrané el. energie v NT 2,6078 Kč. Náklady na vytápění TČ činily celkem

$$(2\,017 + 0 + 81) \times 2,6078 = 5.471 \text{ Kč/rok.}$$



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Náklady za paušální poplatky

Cena za stálé měsíční platby se skládala z platby za rezervovaný příkon 720 Kč a z poplatku za silovou elektřinu 60 Kč. Roční náklady za paušální poplatky činily celkem

$$12 \times (720+60) \text{ Kč} = 9.360 \text{ Kč /rok.}$$

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul výdaje za pravidelný servis zařízení

1000 Kč/rok.

Varianta 2: Provozní náklady s použitím podlahového vytápění

Při kalkulaci provozních nákladů jsem postupoval obdobně jako v předchozím případě, proto uvádím jen hodnoty jednotlivých položek, z nichž jsem vycházel a položky ve kterých se systémy lišily.

Náklady na vytápění

Hnací energie TČ 9 638 kWh/rok, energie doplňkového zdroje 254 kWh/rok, pomocná elektrická energie 702 kWh/rok a cena za 1 kWh odebrané el. energie v NT 2,6078 Kč. Náklady na vytápění TČ činily celkem

$$(9\,638 + 254 + 702) \times 2,6078 = 27.627 \text{ Kč/rok.}$$

Výdaje na ohřev TUV, za paušální poplatky a ostatní náklady jsou obdobné jako u varianty 1.

Roční provozní náklady tepelného čerpadla systému vzduch-voda uvádí tabulka 9.

Tab. 9: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu TČ vzduch-voda

ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY TČ VZDUCH-VODA [Kč]		
	TČ VZDUCH – VODA (45)	TČ VZDUCH – VODA (35)
na vytápění	34 086	27 627
na přípravu TUV	5 471	5 471
paušální poplatky	9 360	
ostatní náklady	1 000	
celkem	49 920	43 460



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Celkové roční náklady TČ varianty 1 činí 49.920 Kč.

Celkové roční náklady TČ varianty 2 činí 43.460 Kč.

7.5 Vytápění pomocí TČ země-voda (monovalentní režim)

Jak už jsem zmínil, při výběru tepelného čerpadla jsem oslovil firmu Master Therm. Ta mi pro systém země-voda (pro systém s vrtem i pro systém se zemním kolektorem) sestavila nabídku, která obsahovala tepelné čerpadlo typ AquaMaster 45Z. Toto čerpadlo odpovídalo výkonem téměř plnému pokrytí tepelné ztráty objektu, tedy téměř monovalentnímu režimu (monovalentní režim popsán v kapitole 4.2). Technické parametry tepelného čerpadla jsou následující

- výkon / příkon / topný faktor při B0W50 (při teplotě 0 °C na vstupu a při teplotě 50 °C na výstupu tepelného čerpadla) jsou 16,2 kW / 5,4 kW / 3,0
- ekvitermní regulace, grafický display PGD
- maximální příkon čerpadla výparníku 400W
- kompresor scroll Sanyo (3×400 V, maximální provozní proud 14,1 A)
- množství chladiva 2,1 kg
- jednoduchá konstrukce pro instalaci uvnitř objektu

7.5.1 Pořizovací náklady

Při stanovení pořizovacích nákladů jsem vycházel z cenových nabídek pro systém s vrtem a systém se zemním kolektorem sestavených firmou Úsporné vytápění s.r.o. Jednotlivé nabídky se liší pouze v ceně za zhotovení nízkoteplotního zdroje, kterou mám vyčíslenou na konci přehledu pro obě varianty. Podrobné cenové nabídky uvádí příloha B a C. Obě nabídky jsem doplnil o položku prováděcí projekt strojovny. Pro orientaci uvádím ceny hlavních položek (včetně DPH se sníženou sazbou), ze kterých se nabídka skládá:

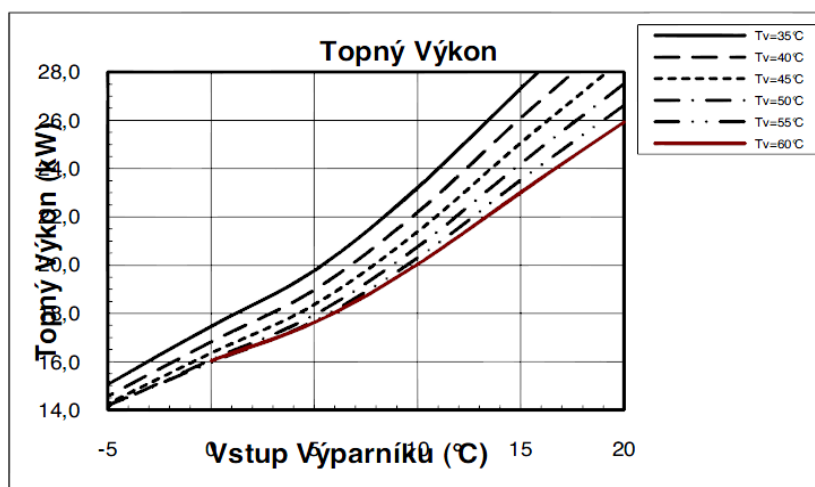
- tepelné čerpadlo + akumulární zásobník: 203.005 Kč
- ostatní materiál: 2.508 Kč
- montáž strojovny: 39.786 Kč

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

- montáž elektroinstalace: 9.006 Kč
- prováděcí projekt strojovny: 5.700 Kč
- celkem bez ceny za zhotovení nízkoteplotního zdroje: 260.005 Kč
- vyvrtání, sestrojení, připojení a naplnění vrtu včetně materiálu: 322.848 Kč
- výkop, položení, připojení a naplnění kolektoru včetně materiálu: 153.900 Kč
- varianta 1: celková cena s vrty: 583.000 Kč
- varianta 2: celková cena se zemním plošným kolektorem: 414.000 Kč

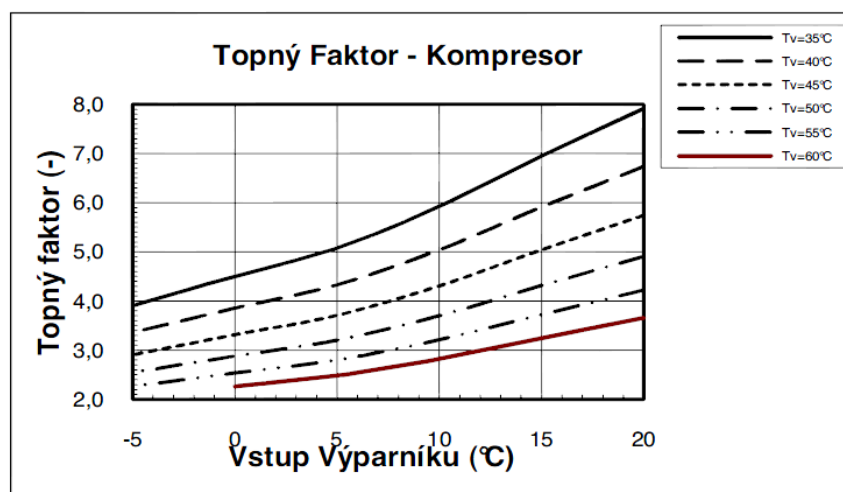
7.5.2 Provozní náklady

Při výpočtu provozních nákladů jsem použil obdobně jako u TČ systému země-voda výpočtový nástroj pro hodnocení soustav s tepelnými čerpadly. Parametry týkající se lokality, klimatických podmínek, vytápění a přípravy teplé vody jsem zvolil analogicky, jako v předchozím případě. Provedl jsem tyto úpravy: změna druhu tepelného čerpadla na země-voda a změna příkonu pomocných zařízení na 400 W (katalogová hodnota maximálního příkonu čerpadla výparníku). Dále jsem zadal výkon a topný faktor podle křivek uvedených v katalogu pro dané tepelné čerpadlo. Tyto křivky dokumentují obrázky 13 a 14.



Obr. 13: Křivka topného výkonu tepelného čerpadla země-voda.

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu



Obr. 14: Křivka topného faktoru tepelného čerpadla země-voda

Zadané hodnoty do výpočtového nástroje odečtené z uvedených křivek jsou uvedeny v tabulce 10 a 11.

Tab. 10: Zadané hodnoty výkonů tepelného čerpadla

$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	0	5	10
35	9,8	11,3	12,8	15,1
45	9,2	10,7	12,0	14,0
55		10,5	11,8	13,3

Tab. 11: Zadané hodnoty topných faktorů tepelného čerpadla

$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	0	5	10
35	3,6	4,1	4,6	5,5
45	2,8	3,1	3,5	4,0
55		2,3	2,7	3,1

Výsledky vyhodnocené výpočtovým nástrojem

Přehled roční spotřeby elektrické energie TČ systému země-voda uvádí tabulka 12.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Tab. 12: Přehled roční potřeby elektrické energie TČ země-voda

		teplota vratné vody 45 °C	teplota vratné vody 35 °C
Hnací energie TČ [kWh/rok]	na vytápění	10 827	8 727
	na přípravu TUV	2 196	2 196
Energie doplň. zdroje [kWh/rok]	na vytápění	0	0
	na přípravu TUV	0	0
Pomocná el. energie [kWh/rok]	na vytápění	943	912
	na přípravu TUV	123	123
Celková el. energie [kWh/rok]	na vytápění	11 770	9 639
	na přípravu TUV	2 319	2 319

Kalkulace provozních nákladů

Při kalkulaci provozních nákladů tepelného čerpadla jsem vycházel z výsledků výpočtového nástroje uvedených v Tabulce 12. Ve výpočtovém nástroji jsem počítal s radiátory (teplota vratné vody 45 °C) a s podlahovým vytápěním (teplota vratné vody 35 °C).

Varianta 1: Provozní náklady s použitím radiátorů

Náklady na vytápění

Při kalkulaci nákladů na vytápění jsem vycházel z položek v Tabulce 12, které spadaly pod označení „na vytápění“. Tedy z hnací energie TČ 10 827 kWh/rok, z energie doplňkových zdrojů 0 kWh/rok, pomocné elektrické energie 943 kWh/rok a z ceny za 1 kWh odebrané el. energie v NT 2,6078 Kč (cena pro sazbu D56d). Náklady na vytápění TČ tedy činily celkem

$$(10\,827 + 0 + 943) \times 2,6078 = 30.694 \text{ Kč/rok.}$$

Náklady na ohřev TUV

Při kalkulaci nákladů na ohřev TUV jsem vycházel z položek v tabulce 12, které spadaly pod označení „na přípravu TUV“. Tedy z hnací energie TČ 2 196 kWh/rok, z energie doplňkového zdroje 0 kWh/rok, z pomocné elektrické energie 123 kWh/rok a



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

z ceny za 1 kWh odebrané el. energie v NT 2,6078 Kč. Náklady na vytápění TČ tedy činily celkem

$$(2\,196 + 0 + 123) \times 2,6078 = 6.047 \text{ Kč/rok.}$$

Náklady za paušální poplatky

Náklady za paušální poplatky jsou obdobné jako u TČ vzduch-voda

9.360 Kč /rok.

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul náklady na pravidelný servis zařízení

500 Kč.

Varianta 2: Provozní náklady s použitím podlahového vytápění

Při kalkulaci provozních nákladů jsem postupoval obdobně jako v předchozím případě, proto uvádím jen hodnoty jednotlivých položek, ze kterých jsem vycházel.

Náklady na vytápění

Hnací energie TČ 8 727 kWh/rok, energie doplňkových zdrojů 0 kWh/rok, pomocná elektrická energie 912 kWh/rok a cena za 1 kWh odebrané el. energie v NT 2,6078 Kč. Náklady na vytápění TČ tedy činily celkem

$$(8\,727 + 0 + 912) \times 2,6078 = 25.137 \text{ Kč/rok.}$$

Náklady na ohřev TUV, za paušální poplatky a ostatní náklady jsou obdobné jako u varianty 1.

Roční provozní náklady tepelného čerpadla systému země-voda uvádí tabulka 13.

Tab. 13: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu TČ země-voda

ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY TČ ZEMĚ-VODA [Kč]		
	TČ ZEMĚ-VODA (45)	TČ ZEMĚ-VODA (35)
na vytápění	30 694	25 137
na přípravu TUV	6 047	6 047
paušální poplatky	9360	
ostatní náklady	500	
Celkem	46 600	41 000



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Celkové roční náklady TČ varianty 1 činí 46.600 Kč.

Celkové roční náklady TČ varianty 2 činí 41.000 Kč.

7.5.3 Vytápění pomocí TČ země-voda (bivalentní režim)

Jelikož je z ekonomického hlediska obecně doporučován bivalentní režim (výkonové pokrytí TČ 55 až 70 % tepelné ztráty objektu), rozhodl jsem se upravit nabídku sestavenou firmou Master Therm tak, aby odpovídala bivalentnímu režimu.

Z katalogu firmy Master Therm jsem vybral tepelné čerpadlo systém země-voda typu AQ30Z, které výkonově odpovídá 63 % krytí tepelné ztráty budovy. Technické parametry tohoto čerpadla jsou následující:

- Výkon / příkon / topný faktor při B0W50 (při teplotě 0 °C na vstupu a při teplotě 50 °C na výstupu tepelného čerpadla) jsou 10,7 kW / 3,7 kW / 2,9
- ekvitermní regulace, grafický display PGD
- maximální příkon čerpadla výparníku 150W
- kompresor scroll Sanyo (3×400 V, maximální provozní proud 11,2 A)
- množství chladiva 1,9 kg
- jednoduchá konstrukce pro instalaci uvnitř objektu

7.5.4 Pořizovací náklady

Při stanovení pořizovacích nákladů jsem vycházel z cenových nabídek pro systém s vrtem a systém se zemním kolektorem sestavených firmou Úsporné vytápění s.r.o. a z katalogových cen firmy Mastertherm. Cena za tepelné čerpadlo AQ30Z činí 173.166 Kč (včetně DPH). Pro zvolený typ (výkon) tepelného čerpadla nám stačí méně hluboký vrt (vrty) popř. menší plocha plošného kolektoru. Orientační přepoččet hloubky vrtu a plochy kolektoru jsem provedl následovně:

Varianta: Systém s vrty

V nabídce sestavené firmou Úsporné vytápění s.r.o. byl výkon tepelného čerpadla 16,2 kW (při BW050) a hloubka vrtu 280 m. Z těchto údajů jsem určil hloubku vrtu potřebnou na 1 kW výkonu TČ: $280 / 17 = 17$ m. Tato hodnota v literatuře odpovídá



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

konstantě pro jílové půdy, popř. pro čedičové horniny [2]. Mnou zvolené TČ má výkon 10,7 kW (při BW050), takže potřebnou hloubku vrtu jsem vypočetl jako $17 \times 10,7 = 181,9$ m. Na základě tohoto výpočtu jsem zvolil hloubku vrtu 200 m.

Varianta 2: Systém s plošným kolektorem

V nabídce sestavené firmou Úsporné vytápění s.r.o. byl výkon tepelného čerpadla 16,2 kW (při BW050) a délka potrubí 900 m. Z těchto údajů jsem určil délku potrubí potřebnou na 1 kW výkonu TČ: $900 / 16,2 = 56$ m. Délka potrubí pro 10,7 kW tedy je $56 \times 10,7 = 599,2$ m. Na základě tohoto výpočtu jsem zvolil délku potrubí 600 m.

Jednotlivé položky včetně úprav pro bivalentní režim a výslednou celkovou cenu jednotlivých variant uvádím zde:

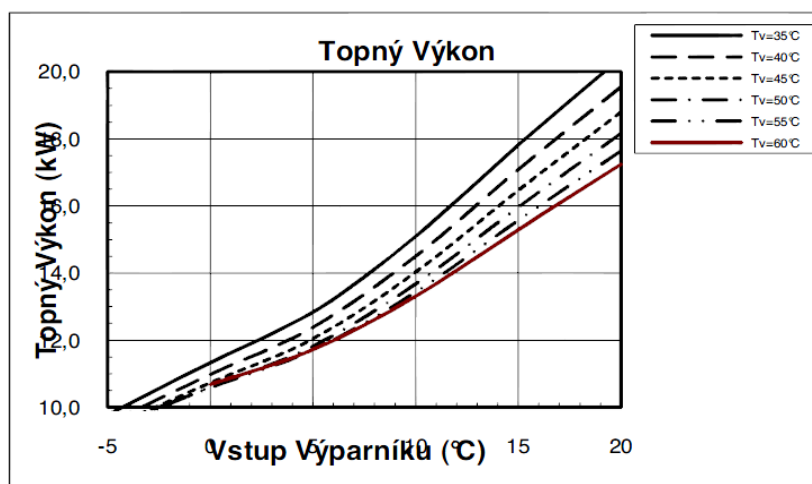
- tepelné čerpadlo AQ30Z + akumulční zásobník G200 S/K: 181.477 Kč
- ostatní materiál: 2.508 Kč
- montáž strojovny: 39.786 Kč
- montáž elektroinstalace: 9.006 Kč
- prováděcí projekt strojovny: 5.700 Kč
- celkem bez ceny za zhotovení nízkoteplotního zdroje: 238.477 Kč
- vyvrtání, vystrojení vrtu (200 m): $200 \times 1\,128,6 = 225.720$ Kč + cena za pátevní potrubí PE, připojení, naplnění a zprovoznění okruhu (5 m): $5 \times 1368 = 6.840$ Kč, celkem za vrt: 232.560 Kč
- výkop, položení, připojení a naplnění kolektoru včetně materiálu (600m): 102.600 Kč
- Varianta1: celková cena s vrty: 471.000 Kč
- Varianta2: celková cena se zemním plošným kolektorem: 341.000 Kč

7.5.5 Provozní náklady

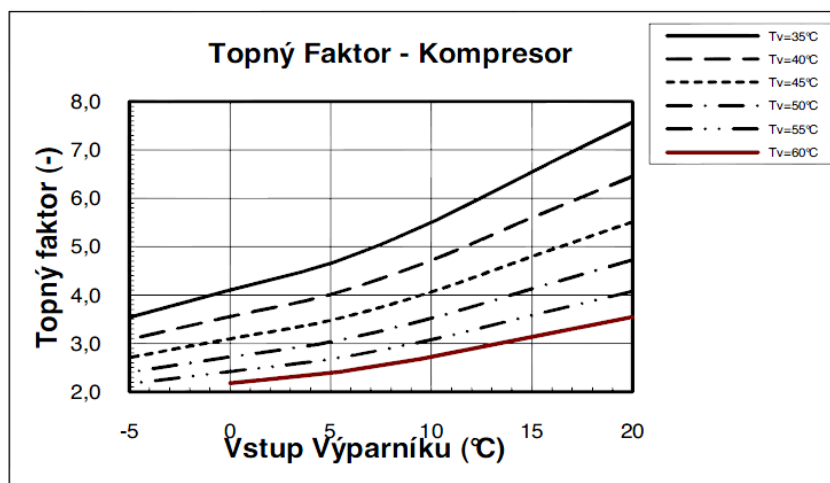
Při výpočtu provozních nákladů jsem postupoval obdobně jako u předešlých systémů tepelných čerpadel. Úpravy, které jsem provedl byly: změna druhu tepelného

Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

čerpadla na země/voda a změna příkonu pomocných zařízení na 150 W (katalogová hodnota maximálního příkonu čerpadla výparníku). Dále jsem zadal výkon a topný faktor podle křivek uvedených v katalogu pro dané tepelné čerpadlo. Tyto křivky dokumentují obrázky 15 a 16.



Obr. 15: Křivka topného výkonu tepelného čerpadla země-voda.



Obr. 16: Křivka topného faktoru tepelného čerpadla země-voda

Zadané hodnoty do výpočtového nástroje odečtené z uvedených křivek jsou uvedeny v tabulkách 14 a 15.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Tab. 14: Zadané hodnoty výkonů tepelného čerpadla

$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	0	5	
35	15,0	17,5	19,8	
45	14,1	16,4	18,4	
55	14,0	16,0	18,0	

Tab. 15: Zadané hodnoty topných faktorů tepelného čerpadla

$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-5	0	5	
35	3,9	4,5	5,1	
45	2,9	3,3	3,7	
55	2,3	2,5	2,8	

Výsledky vyhodnocené výpočtovým nástrojem.

Přehled roční potřeby elektrické energie TČ systému země-voda uvádí tabulka 16.

Tab. 16: Přehled roční potřeby elektrické energie TČ země-voda

		teplota vratné vody 45 °C	teplota vratné vody 35 °C
Hnací energie TČ [kWh/rok]	na vytápění	11 218	9 214
	na přípravu TUV	2 228	2 228
Energie doplň. zdroje [kWh/rok]	na vytápění	554	366
	na přípravu TUV	0	0
Pomocná el. energie [kWh/rok]	na vytápění	790	765
	na přípravu TUV	105	105
Celková el. energie [kWh/rok]	na vytápění	12 562	10 345
	na přípravu TUV	2 333	2 333



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Kalkulace provozních nákladů

Při kalkulaci provozních nákladů tepelného čerpadla jsem vycházel z výsledků výpočtového nástroje uvedených v tabulce 16. Ve výpočtovém nástroji jsem počítal se dvěma systémy otopných těles a to s radiátory (teplota vratné vody 45 °C) a s podlahovým vytápěním (teplota vratné vody 35 °C).

Varianta 1: Provozní náklady s použitím radiátorů

Náklady na vytápění

Při kalkulaci nákladů na vytápění jsem vycházel z položek uvedených v tabulce 16, které spadaly pod označení „na vytápění“. Tedy z hnací energie TČ 11 218 kWh/rok, z energie doplňkového zdroje 366 kWh/rok, z pomocné elektrické energie 765 kWh/rok a z ceny za 1 kWh odebrané el. energie v NT 2,6078 Kč (cena pro sazbu D56d). Náklady na vytápění TČ činily celkem

$$(9\,214 + 366 + 765) \times 2,6078 = 26.978 \text{ Kč/rok.}$$

Náklady na ohřev TUV

Při kalkulaci nákladů na ohřev TUV jsem vycházel z položek v Tabulce 8, které spadaly pod označení „na přípravu TUV“. Tedy z hnací energie TČ 2 228 kWh/rok, z energie doplňkových zdrojů 0 kWh/rok, z pomocné elektrické energie 105 kWh/rok a z ceny za 1 kWh odebrané el. energie v NT 2,6078 Kč. Náklady na vytápění TČ činily celkem

$$(2\,228 + 0 + 105) \times 2,6078 = 6.084 \text{ Kč/rok.}$$

Náklady za paušální poplatky

Náklady za paušální poplatky jsou obdobné jako u předešlých systémů

9.360 Kč /rok.

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul výdaje za pravidelný servis zařízení

500 Kč/rok.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Varianta 2: Provozní náklady s použitím podlahového vytápění

Při kalkulaci provozních nákladů jsem postupoval obdobně jako v předchozím případě, proto uvádím jen hodnoty jednotlivých položek, ze kterých jsem vycházel.

Náklady na vytápění

Hnací energie TČ 11 218 kWh/rok, energie doplňkového zdroje 554 kWh/rok, pomocná elektrická energie 790 kWh/rok a cena za 1 kWh odebrané el. energie v NT 2,6078 Kč. Náklady na vytápění TČ činily celkem

$$(11\,218 + 554 + 790) \times 2,6078 = 32.759 \text{ Kč/rok.}$$

Náklady na ohřev TUV, za paušální poplatky a ostatní náklady jsou obdobné jako u varianty 1.

Roční provozní náklady tepelného čerpadla systému země-voda uvádí tabulka 17.

Tab. 17: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu TČ země-voda

ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY TČ ZEMĚ-VODA [Kč]		
	TČ ZEMĚ-VODA (45)	TČ ZEMĚ-VODA (35)
na vytápění	32 759	26 978
na přípravu TUV	6 084	6 084
paušální poplatky	9360	
ostatní náklady	500	
Celkem	48 700	42 900

Celkové roční náklady TČ varianty 1 činí 42.900 Kč.

Celkové roční náklady TČ varianty 2 činí 48.700 Kč.

7.6 Vytápění pomocí zplyňovacího kotle na biomasu

Při výběru zplyňovacího kotle pro zvolený objekt jsem kontaktoval firmu Atmos, která mi zaslala katalog a kompletní ceníky jejich výrobků. Při výběru kotle jsem se zaměřil nato, aby kotel umožňoval efektivní spalování jak dřeva, tak dřevních briket. Tomuto požadavku odpovídal kotel DC 24 RS. Jeho technické parametry jsou následující:

- výkon až 26 kW



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

- účinnost 86,6 %
- vybaven sacím ventilátorem
- topeniště s otočným litinovým roštem s přívodem předeřátého sekundárního vzduchu
- maximální délka a průřez paliva 330 mm a 100 mm.

7.6.1 Pořizovací náklady

Při stanovení pořizovacích nákladů jsem vycházel ze vzorového schématu pro instalaci kotle, který mi firma Atmos zaslala. Dle doporučení výrobce jsem doplnil topný okruh o dvě izolované akumulční nádrže. Pro ohřev TUV je jedna z nich opatřena plovoucím bojlerem a elektrickým topným tělesem zajišťujícím ohřev mimo topné období. Akumulční nádrže z hospodární regulaci kotle a zvýší účinnost vytápění. Kompletní cenovou nabídku uvádí příloha D., náklady na připojení a zprovoznění kotle jsem konzultoval s odborníkem v oboru. Pro orientaci uvádím ceny hlavních položek (včetně DPH), ze kterých se nabídka skládá:

- zplyňovací kotel: 39.800 Kč
- akumulční nádrže: 61.400 Kč
- příslušenství: 19.854 Kč
- montáž včetně materiálu: 7.000 Kč
- celkem: 128.000 Kč

7.6.2 Provozní náklady

Při výpočtu provozních nákladů jsem vycházel z roční potřeby tepla pro rodinný dům. Pro výpočet spotřeby paliva je nutné počítat s roční potřebou tepla v MJ, jelikož zde počítáme s výhřevností paliva, která má jednotku MJ/kg. Vypočtená roční potřeba tepla na vytápění je 129 400 MJ a na ohřev TUV je 16 200 MJ (výpočet viz kapitola 7.1). Protože kotel bude připravovat TUV pouze v topném období a mimo topné období jí bude ohřívat elektrický topný článek je potřeba roční potřebu tepla na ohřev TUV rozdělit. Při výpočtu potřeby tepla na ohřev TUV v topném období jsem



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

vycházel z denní potřeby tepla pro ohřev TUV: 14,1 kWh a z délky topného období: 234 dní (obě hodnoty vyhodnoceny výpočtovým nástrojem viz kapitola 7.1). Potřeba tepla na ohřev TUV v topném období tedy je $234 \times 14,1 = 3\,299,4 \text{ kWh} = 11\,878 \text{ MJ}$. Potřebu tepla na ohřev TUV mimo topné období určíme odečtením potřeby tepla v topném období od roční potřeby: $4\,500 - 3\,299,4 = 1\,200,6 \text{ kWh} = 4\,322 \text{ MJ}$. Z tohoto údaje můžeme rovnou spočítat spotřebu el. energie doplňkového zdroje tepla na ohřev TUV: $1\,200,6 / 0,99 = 1\,213 \text{ kWh}$ (počítal jsem se stejnou účinností jako u elektrokotle).

Spotřebu paliva vypočteme ze vztahu:

$$p = \frac{Q_v}{H \cdot \eta} \cdot 100 [\text{kg/rok}] \quad (\text{rovnice 5})$$

kde Q_v je roční potřeba tepla η je účinnost kotle a H je výhřevnost paliva. Jako palivo jsem zvolil bukové dřevo a dřevní brikety. Výhřevnost pro suché bukové dřevo je 15,5 MJ/kg reálná výhřevnost kvalitních dřevních briket je 17 MJ/kg. Účinnost kotle jsem na základě článku zabývajícího se touto problematikou snížil na 84 %. Po dosažení do vztahu nám vyjde odhadovaná roční spotřeba paliva.

Spotřeba paliva v podobě bukového dřeva je

na vytápění:

$$p = \frac{129\,400}{15,5 \cdot 0,84} = 9\,939 \text{ kg/rok}$$

na ohřev TUV v topném období

$$p = \frac{11\,878}{15,5 \cdot 0,84} = 912 \text{ kg/rok}$$

Spotřeba paliva v podobě dřevních briket je

na vytápění

$$p = \frac{129\,400}{17 \cdot 0,84} = 9\,062 \text{ kg/rok}$$

na ohřev TUV v topném období



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

$$p = \frac{11\,878}{17 \cdot 0,84} = 832 \text{ kg / rok}$$

Jako dodavatele dřeva jsem zvolil firmu Progles sídlící ve městě Jičín, která se zabývá prodejem palivového dřeva. Ze sortimentu jsem vybral suché bukové dřevo, u kterého je garantována vysušenost dřeva. Cena dřeva může být účtována ve dvou různých jednotkách a to v: prm – prostorovém metru rovnaném a v prs – prostorovém metru sypaném. Jeden prm = 1,2 až 1,3 prs, proto je při výpočtu ceny za dřevo důležité vždy znát jednotku. Pro přepočet na kilogramy jsem použil tabulkové hodnoty. Pro suché bukové dřevo odpovídá 1 prostorový metr rovnaný 469 kg. Cena za dřevo se odvíjí od odebraného množství. Pokud koupíme zásobu na celé topné období (což je vhodné, protože dřevo nemusí být dostupné po celý rok) vyjde cena suchého bukového dřeva na 1500 Kč za prm, tedy na 3,20 Kč/kg. Jako dodavatele dřevních briket jsem zvolil firmu CDP. Tato firma se zabývá rozvozem a prodejem dřevěných paliv. Z jejich sortimentu jsem vybral válcové dřevěné brikety za cenu 5 Kč/kg. Při odběru nad 4 tuny dřevěných briket nabízí firma dopravu zdarma.

Při stanovení ceny elektrické energie jsem pro doplňkový zdroj na ohřev TUV zvolil sazbu D35d (Akumulace 16) kde cena za 1 kWh odebrané el. energie v NT je 2,424 Kč.

Kalkulace provozních nákladů

Varianta 1: Provozní náklady s použitím bukové dřevo jako paliva

Náklady na vytápění

Při kalkulaci nákladů na vytápění zplyňovacím kotlem jsem vycházel z vypočtené roční spotřeby dřeva: 9 939 kg a z ceny za 1 kg dřeva: 3,20 Kč. Náklady na vytápění zplyňovacím kotlem činily:

$$9\,939 \times 3,20 = 31.805 \text{ Kč/rok}$$

Náklady na ohřev TUV

Při kalkulaci nákladů na ohřev TUV zplyňovacím kotlem jsem vycházel z vypočtené roční spotřeby dřeva na ohřev TUV: 912 kg, z ceny za 1 kg dřeva: 3,20 Kč, z vypočtené spotřeby el. energie na ohřev TUV doplňkovým zdrojem: 1 201 kWh a



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

z ceny za 1 kW/h odebrané el. energie: 2,424 Kč. Náklady na ohřev TUV zplyňovacím kotlem činily: $912 \times 3,20 = 2.918$ Kč. Náklady na ohřev TUV doplňkovým zdrojem činily $1\,213 \times 2,424 = 2.940$ Kč. Celkové náklady na ohřev TUV činily: 5 858 Kč.

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul náklady na čištění a revizi komína: 1500 Kč a dopravu paliva: 2000 Kč. Ostatní náklady související s provozem zplyňovacího kotle činily celkem 3.500 Kč/rok.

Varianta 2: Provozní náklady s použitím dřevěných briket jako paliva

Při kalkulaci provozních nákladů jsem postupoval obdobně jako v předchozím případě, proto uvádím jen hodnoty jednotlivých položek, z nichž jsem vycházel

Náklady na vytápění

Roční spotřeba briket: 8 957 kg, cena za 1 kg dřevěných briket: 5,00 Kč. Náklady na vytápění zplyňovacím kotlem činily:

$$9\,062 \times 5,00 = 45\,310 \text{ Kč}$$

Náklady na ohřev TUV

Roční spotřeby briket: 832 kg, spotřeby el. energie na ohřev TUV doplňkovým zdrojem: 1 213 kW/h, cena za 1 kW/h odebrané el. energie: 4,83 Kč. Náklady na ohřev TUV zplyňovacím kotlem činily: $832 \times 5,00 = 4\,160$ Kč. Náklady na ohřev TUV doplňkovým zdrojem činily $1\,213 \times 2,424 = 2.940$ Kč. Celkové náklady na ohřev TUV činily: 7.100 Kč

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul výdaje za čištění a revizi komína: 1500 Kč.

Roční provozní náklady zplyňovacího kotle uvádí tabulka 18.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Tab. 18: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu zplyňovacím kotlem

ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY ZPLYŇOVACÍHO KOTLE [Kč]		
	Bukové dřevo	Dřevěné brikety
na vytápění	31 803	45 308
na přípravu TUV	5 858	7 100
ostatní náklady	3 500	1 500
celkem	53 900	41 200

Celkové roční náklady zplyňovacího kotle varianty 1 činí 41.200 Kč.

Celkové roční náklady zplyňovacího kotle varianty 2 činí 53.900 Kč.

7.7 Vytápění pomocí automatizovaného kotle na pelety

Výše zmíněná firma Atmos nabízí i automatizované kotle na pelety. Z jejich nabídky jsem vybral automatizovaný kotel D25P, který výkonově odpovídá pokrytí tepelné ztráty objektu. Technické parametry tohoto kotle jsou následující:

- výkon 7–24 kW
- účinnost 90,2 %
- topná spirála pro zapalování paliva

Při stanovení pořizovacích nákladů jsem částečně vycházel z nabídky sestavené pro zplyňovací kotel. Jelikož je regulace automatického kotle výrazně lepší než u kotle zplyňovacího, stačí nám pouze jedna akumulční nádrž, která slouží jako výkonová vyrovnávací nádrž. Minimální objem vyrovnávací nádrže, doporučený výrobcem, je 500 l. Aby bylo možné topného systému využít i pro ohřev TUV, zvolil jsem akumulční nádrž s plovoucím bojlerem 140 l. Celkový obsah akumulční nádrže je 800 l. Dále jsem nabídku doplnil o části potřebné k plně automatizovanému provozu kotle (šnekový dopravník, nádrž na pelety, odpopelňovací zařízení atd.) Kompletní cenovou nabídku uvádí příloha D. Pro orientaci uvádím ceny hlavních položek (včetně DPH), ze kterých se nabídka skládá:

- automatizovaný kotel s hořákem: 53.400 Kč
- části potřebné pro automatický režim: 38.987 Kč
- akumulční nádrž: 33 500



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

- příslušenství: 12.088 Kč
- montáž včetně materiálu: 10.000 Kč
- celkem: 148.000 Kč

7.7.1 Provozní náklady

Při výpočtu provozních nákladů jsem obdobně jako u zplyňovacího kotle vycházel z roční potřeby tepla pro rodinný dům v MJ. Protože je výkon kotle na pelety dobře regulovatelný a jeho provoz automatický, lze ho použít jako zdroj pro ohřev TUV i v období mimo topnou sezónu, což z hospodární provoz (nemusíme počítat s elektrickým ohřevem). Spotřebu paliva vypočteme obdobně jako u zplyňovacího kotle z rovnice 5. Účinnost kotle jsem snížil na základě odborných článků zabývajících se touto problematikou na 88 %, výhřevnost kvalitních dřevních pelet uvažuji na 17 MJ/kg. Odhadovaná roční spotřeba paliva je:

na vytápění:

$$p = \frac{129\,400}{17 \cdot 0,88} = 8\,650 \text{ kg / rok}$$

na ohřev TUV:

$$p = \frac{16\,200}{17 \cdot 0,88} = 1\,083 \text{ kg / rok}$$

Za dodavatele dřevních pelet jsem zvolil firmu CDP jako v předchozím případě. Firma nabízí čisté pelety z měkkého dřeva za cenu 5,65 Kč/kg. Při odebrání množství nad 4 tuny paliva nabízí firma CDP dopravu zdarma.

Kalkulace provozních nákladů

Při kalkulaci provozních nákladů jsem postupoval obdobně jako v případě zplyňovacího kotle, proto uvádím jen hodnoty jednotlivých položek, z nichž jsem vycházel

Náklady na vytápění

Roční spotřeba pelet: 8 650 kg, cena za 1 kg pelet: 5,65 Kč. Náklady na vytápění automatickým kotlem na pelety činily:



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

$$8\,650 \times 5,65 = 48\,873 \text{ Kč}$$

Náklady na ohřev TUV

Roční spotřeba pelet: 1 083 kg, cena za 1 kg pelet: 5,65 Kč. Náklady na ohřev TUV automatickým kotlem na pelety činily:

$$1\,083 \times 5,65 = 6\,119 \text{ Kč}$$

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul výdaje za čištění a revizi komína 1500 Kč.

Přehled jednotlivých položek kalkulace provozních nákladů automatizovaného kotle uvádí tabulka 19.

Tab. 19: Kalkulace provozních nákladů vytápění objektu aut. kotlem

Roční provozní náklady elektrokotle [Kč]	
vytápění	48 873
příprava TUV	6 119
ostatní náklady	1 500
celkem	56 500

Celkové roční náklady kotle na pelety činí 56.500 Kč

7.8 Ohřev TUV pomocí solárních kolektorů a vytápění pomocí elektrokotle / kotle na zemní plyn

V této části jsem se zabýval kalkulací pořizovacích a provozních nákladů solárních kolektorů, jako samostatného zdroje pro ohřev TUV, který lze použít jednoduše pro kombinaci s elektrokotlem nebo kotlem na zemní plyn.

Při výběru solárních kolektorů jsem zvolil firmu PROPULS SOLAR s.r.o. Tato firma nabízí program pro výpočet potřebné kolektorové plochy včetně energetických zisků, který je dostupný na stránkách Operačního fondu životního prostředí. Z jejich nabídky jsem vybral solární kolektor typu Runtime 2.1, který má následující technické parametry :

- celoměděný, pájený absorbér se selektivním povrchem
- absorpční plocha 1,83 m²



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

- energetický zisk 800 – 1200 kWh/rok

7.8.1 Pořizovací náklady

Před stanovením pořizovacích nákladů jsem pomocí programu Suntiware [17] stanovil potřebnou velikost plochy kolektorů pro ohřev TUV. Do programu jsem zadal lokalitu Jičín a roční potřebu tepla na ohřev TUV. Program mi vyhodnotil jako optimální řešení instalaci 6 m² solárních kolektorů, což odpovídá 3 kusům kolektorů Runtime 2.1. Nabídku jsem sestavil pomocí doporučeného schématu na stránkách firmy PROPULS SOLAR s.r.o. a cen uvedených v katalogu. Náklady na montáž a instalaci jsem stanovil z odborné literatury [11]. Kompletní cenovou nabídku uvádí příloha E, ceny hlavních položek nabídky (včetně DPH) jsou následující:

- 3 kusy solárních kolektorů + kotvící prvky: 46.644 Kč
- příslušenství: 29.533 Kč
- akumulční nádrž (včetně el. patrony): 22.500 Kč
- návrh a montáž včetně materiálu: 28.000 Kč
- celkem: 127.000 Kč

Varianta 1: pořizovací náklady kombinace solárních panelů s plynovým kondenzačním kotlem

Pro kombinaci solárních kolektorů s plynovým kondenzačním kotlem jsem vycházel z celkových pořizovacích nákladů plynového kondenzačního kotle Buderus typ GB122-24K: 146.000 Kč (uvedené viz kapitola 7.2) a z výše uvedených nákladů solárních kolektorů: 127.000 Kč. Celkové pořizovací náklady této kombinace činily: 273.000 Kč

Varianta 2: pořizovací náklady kombinace solárních panelů s elektrokotlem:

Pro kombinaci s elektrokotlem jsem uvažoval celkové pořizovací náklady pro elektrokotel Protherm typ RAY 24 K: 85 000 Kč (uvedené viz kapitola 7.3), které jsem snížil o cenu zásobníku TV: 17.292 Kč. Zásobník v tomto případě není potřeba, protože solární kolektory jsou opatřeny 300 litrovou akumulční nádrží. Celkové pořizovací náklady této kombinace činily: 195.000 Kč



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

7.8.2 Provozní náklady:

Při výpočtu provozních nákladů jsem také použil program Suntiware, do kterého jsem obdobně jako při výpočtu plochy kolektoru zadal lokalitu Jičín a roční měrnou potřebu tepla na ohřev TUV. Dále jsem z křivek představujících pokrytí potřeby teplé vody přes den zvolil křivku číslo 2, odpovídající potřebě teplé vody pro rodinný dům a zadal sklon střechy 45 °. Program vyhodnotil roční využití solární energie na 2 449 kWh/rok, což odpovídá 54% krytí spotřeby energie na ohřev TUV. Zbývá část energie 2051 kWh/rok je ohřívána pomocí el. topného článku. Roční spotřebu el. energie topného článku spočítáme: $2051/0.99 = 2072$ kWh (počítal jsem se stejnou účinností jako u elektrokotle). Spotřebu el. energie oběhovým čerpadlem a řídicí jednotkou jsem stanovil podle odborné literatury na 95 kWh/rok.[11]

Při stanovení ceny elektrické energie jsem pro kombinaci plynového kotle se solárními kolektory zvolil sazbu D35d (Akumulace 16), kde cena za 1 kWh odebrané el. energie v NT je 2,424 Kč.

Kalkulace provozních nákladů

Varianta 1: Provozní náklady kombinace kotle na zemní plyn se solárními kolektory:

Náklady na vytápění

Náklady na vytápění jsou obdobné jako u kotle na zemní plyn: 55.838 Kč/rok

Náklady na ohřev TUV

Při kalkulaci nákladů na ohřev TUV solárními kolektory jsem vycházel z vypočtené roční spotřeby el. topného článku: 2072 kWh, z roční spotřeby oběhového čerpadla a řídicí jednotky: 95 kWh a z ceny za 1 kWh odebrané el. energie: 2,424 Kč. Náklady na ohřev TUV solárními kolektory tedy činily: $(2072 + 95) \times 2,424 = 5.253$ Kč

Paušální poplatky

Náklady na paušální poplatky jsou obdobné jako u kotle na zemní plyn: 4.573 Kč/rok.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul náklady na revizi komínu a to 1000 Kč/rok a náklady na údržbu kotle a solárních kolektorů: 1000 Kč/rok. Ostatní náklady činily celkem 2.000 Kč/rok.

Varianta 2: Provozní náklady kombinace elektrokotle se solárními kolektory:

Náklady na vytápění

Náklady na vytápění jsou obdobné jako u elektrokotle: 94.523 Kč/rok.

Náklady na ohřev TUV

Náklady na ohřev TUV jsem vypočetl obdobně jako v předchozím případě, s tím rozdílem, že cena za 1 kWh odebrané el. energie je 2,6066 Kč (cena pro sazbu elektrokotle). Náklady na ohřev TUV solárními kolektory činily:

$$(2072 + 95) \times 2,6066 = 5.649 \text{ Kč}$$

Paušální poplatky

Náklady za paušální poplatky jsou stejné jako elektrokotle: 9.360 Kč /rok.

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul výdaje za údržbu kotle a solárních panelů 800 Kč/rok.

Celkové roční náklady kombinace kotle na zemní plyn se solárními kolektory činily: 67.700 Kč

Celkové roční náklady kombinace elektrokotle se solárními kolektory činí: 110.300 Kč.

7.9 Kombinace zplyňovacího kotle a solárních kolektorů

Toto řešení se mi jeví výhodné, protože při provozu zplyňovacího kotle musíme mimo topné období ohřívat TUV elektrickou energií a jelikož solární panely mají největší tepelné zisky v letních měsících, tedy mimo topné období, mohou plně nahradit elektrický ohřev TUV. Další výhodou tohoto zapojení je nezávislost na růstu cen majoritních zdrojů energie.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

7.9.1 Pořizovací náklady

Pro kombinaci zplyňovacího kotle se solárními kolektory bylo potřeba nahradit, u nabídky zplyňovacího kotle, stávající akumulční nádrž s plovoucím bojlerem o akumulční nádrž s výměníkem pro solár s plovoucím bojlerem. To představovalo navýšení ceny o 2.000 Kč. U nabídky solárních kolektorů tedy již nebyla zapotřebí akumulční nádrž. Tím se snížily náklady o 22.500 Kč. Celkové pořizovací náklady této kombinace činí: 234 500 Kč.

7.9.2 Provozní náklady

Při stanovení provozních nákladů jsem vycházel z celkové spotřeby paliva zplyňovacího kotle na vytápění: 9 939 kg/rok při použití dřeva a 9 062 kg/rok při použití dřevních briket. Ohřev TUV bude zajištěn solárními kolektory a elektrický ohřev nahradí zplyňovací kotel. Předpokládané roční využití solární energie bude 2 449 kWh/rok a potřeba tepla na ohřev TUV pomocí zplyňovacího kotle bude 2051 kWh/rok = 7384 MJ/rok. (výpočet obou hodnot viz kapitola 7.7.1). Spotřebu paliva na ohřev TUV zplyňovacím kotlem jsem vypočetl obdobně jako v předchozích případech pomocí rovnice 5.

Spotřeba paliva na ohřev TUV při použití bukového dřeva

$$p = \frac{7\,384}{15,5 \cdot 0,84} = 567 \text{ kg/rok}$$

Spotřeba paliva na ohřev TUV při použití dřevěných briket

$$p = \frac{7\,384}{17 \cdot 0,84} = 517 \text{ kg/rok}$$

Kalkulace provozních nákladů

Varianta 1: Provozní náklady s použitím bukové dřeviny jako paliva

Náklady na vytápění

Náklady na vytápění jsou obdobné jako u zplyňovacího kotle: 31.805 Kč/rok



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Náklady na ohřev TUV

Při kalkulaci nákladů na ohřev TUV kombinací zplyňovacího kotle a solárních kolektorů jsem vycházel z vypočtené roční spotřeby dřeva: 567 kg, z ceny za 1 kg dřeva: 3,20 Kč, z roční spotřeby oběhového čerpadla a řídicí jednotky: 95 kWh a z ceny za 1 kWh odebrané el. energie: 2,424 Kč. Náklady na ohřev TUV činily:

$$(567 \times 3,20) + (95 \times 2,424) = 2.045 \text{ Kč}$$

Ostatní náklady

Ostatní náklady jsou obdobné jako u zplyňovacího kotle: 3.500 Kč.

Varianta 2: Provozní náklady s použitím dřevěných briket jako paliva

Náklady na vytápění

Náklady na vytápění jsou obdobné jako u zplyňovacího kotle: 45 310 Kč

Náklady na ohřev TUV

Při kalkulaci nákladů na ohřev TUV kombinací zplyňovacího kotle a solárních kolektorů jsem vycházel z vypočtené roční spotřeby briket: 517 kg, z ceny za 1 kg briket: 5,00 Kč, z roční spotřeby oběhového čerpadla a řídicí jednotky: 95 kWh a z ceny za 1 kWh odebrané el. energie: 2,424 Kč. Náklady na ohřev TUV činily:

$$(517 \times 5,00) + (95 \times 2,424) = 2.815 \text{ Kč}$$

Ostatní náklady

Do ostatních nákladů jsem zahrnul výdaje za čištění a revizi komína: 1500 Kč.

Celkové roční náklady varianty 1 činí 37.400 Kč.

Celkové roční náklady varianty 2 činí 49.600 Kč.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

8 Analýza

Pro vyhodnocení optimálního systému vytápění zvoleného objektu jsem použil multikriteriální rozhodovací analýzu MKRA. Dále jsem provedl citlivostní analýzu.

8.1 Multikriteriální rozhodovací analýza – MKRA

Tato metoda spočívá v převedení hodnot jednotlivých kritérií do bodové škály, které se provede podle tohoto algoritmu. Nejhorší hodnotě daného kritéria (x_i^0) přiřadíme počet bodů 0. Nejlepší hodnotě (x_i^*) přiřadíme počet bodů 100. Ohodnocení ostatních variant provedeme v závislosti na tom, zda je kritérium nákladového nebo výnosového typu. Pokud je kritérium výnosového typu:

$$e_{ij} = 100 \cdot \frac{S_{ij} - \min_i S_{ij}}{\max_i S_{ij} - \min_i S_{ij}} \quad (\text{rovnice 6})$$

a pokud je ukazatel nákladového typu:

$$e_{ij} = 100 \cdot \frac{\max_i S_{ij} - S_{ij}}{\max_i S_{ij} - \min_i S_{ij}} \quad (\text{rovnice 7})$$

Kde S_{ij} je hodnota j -tého kritéria i -té varianty. [19]

V souladu s pravidly MKRA jsem zvolil 10 kritérií, která jsou podle mého názoru z pozice uživatele důležitá při výběru optimálního systému vytápění. Vybraná kritéria zahrnují ekonomiku navrhovaných systémů (pořizovací náklady, provozní náklady a předpokládanou stabilitu ceny paliva), technické požadavky na provoz systému (náročnost na obsluhu, prostorové nároky, dostupnost servisu) a posouzení vlivu topných systémů na životní prostředí (ekologie). Jednotlivá kritéria včetně návrhu jejich ohodnocení jsou následující.

Pořizovací a provozní náklady

Jsou vyjádřeny v Kč a odpovídají hodnotám vypočítaným v předešlé kapitole.

Předpokládaná stabilita provozních nákladů

Stabilitu provozních nákladů lze vyjádřit pouze kvalitativně, proto jsem použil bodové ohodnocení. Protože ceny plynu a elektřiny ovlivňuje globální ekonomika a jejich nárůst nelze dlouhodobě předpovědět, bodové ohodnocení odpovídalo podílu



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

těchto zdrojů na provozu jednotlivých systémů. U systémů využívajících jako zdroj energie dřevo a s ním související produkty předpokládám větší stabilitu cen, protože se jedná o obnovitelný zdroj, který je dostupný a lze jeho produkci rozšiřovat. Nejnižší hodnocení v tomto kritériu získaly plynový a elektrický kotel. U systémů obsahujících tepelná čerpadla jsem u bodového hodnocení vycházel z topného faktoru. A jako nejméně závislé tj. s nejvyšším hodnocením uvažuji systémy, využívající dřevo jako zdroj energie.

Časová náročnost na obsluhu

V tomto případě se mi jevilo jako nejvhodnější bodové ohodnocení. Nejhorší hodnotu jsem přiřadil zplyňovacímu kotli, protože u něj musíme denně provádět přikládání paliva, odpopelňování a periodické čištění teplosměnných ploch. Oproti tomu automatizovaný kotel na pelety, který je vybaven zásobníkem na palivo, šnekovým dopravníkem a odpopelňovacím systémem, umožňuje prodloužit interval obsluhy na 6 až 14 dnů. U ostatních systémů uvažuji pouze občasný dohled (vizuální kontrola). V těchto případech jsem zohlednil četnost dohledu v bodovém ohodnocení jednotlivých systémů.

Náročnost na kvalifikaci obsluhy

I pro toto kritérium jsem použil bodové ohodnocení. Vycházel jsem ze snahy minimalizovat náklady a čas na řešení poruch, které nevyžadují servisní zásah. Bodové ohodnocení jednotlivých systémů je úměrné nárokům na pochopení funkce zařízení a rozlišení odstranitelných poruch obsluhou. Z tohoto hlediska jsem jako nejméně náročné zařízení na obsluhu určil elektrokotel, protože se jedná o jednoduchý systém se stabilním zdrojem energie. U plynového kotle, který má obdobně stabilní zdroj energie, jsem zvýšil nároky na obsluhu, protože je nutné řešit např. drobné výpadky systému způsobené bezpečnostními čidly. Největší nároky na obsluhu jsem uvažoval u systémů s tepelným čerpadlem, protože je to zařízení složité a při analýze poruchy je zapotřebí značná znalost principu systému. U ostatních systémů uvažuji průměrné nároky na kvalifikaci obsluhy.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Dostupnost servisu

Dostupnost servisu lze také těžko posoudit jinak než bodovým ohodnocením. U všech systémů, kde je zdroj energie kotel, předpokládám dobrou dostupnost servisu, protože se jedná o standardně používaná zařízení. U tepelných čerpadel a solárních kolektorů uvažuji horší dostupnost servisu, protože je potřeba specializované firmy, které nemusí být dostupné v dané lokalitě.

Předpokládaná doba životnosti

Předpokládaná doba životnosti jednotlivých systémů je vyjádřena v letech. Při zadávání hodnot jsem použil informace, které uvádějí výrobci a odborné publikace.

Prostorové nároky uvnitř objektu

Prostorová náročnost v objektu je vyjádřena v m^2 a při jejím zadávání jsem vycházel z údajů udávaných výrobcí pro minimální rozměry kotelen.

Prostorové nároky vně objektu

Prostorová náročnost vně objektu je též vyjádřena v m^2 a vycházel jsem z údajů udávaných výrobcí pro části systémů umístěných mimo objekt, popř. popř. skladovací plochy pro palivo.

Vliv na životní prostředí

Vliv na životní prostředí lze vyjádřit pouze kvalitativně. Při hodnocení vlivů na životní prostředí jsem tedy použil bodové ohodnocení a vycházel jsem z produkce emisí a z efektivnosti přeměny paliva na teplo. Nejlepší hodnocení jsem přiřadil tepelnému čerpadlu (nepředpokládal jsem havarijní únik chladiva), produkce emisí je nulová a efektivnost přeměny energií je díky topnému faktoru vysoká. Další v pořadí byl elektrokotel, protože při svém provozu neprodukuje emise a má vysokou účinnost. Nelze ale opomenout ekologickou zátěž při výrobě elektrické energie. Ostatní zdroje při svém provozu produkují emise, bodové ohodnocení jsem provedl na základě informací z odborné literatury.

Zadaná kritéria včetně ohodnocení dokumentuje tabulka 20.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Tab. 20: MKRA

kritéria	Varianty systému vytápění										měrná jednotka	typ
	kotel na zemní plyn	elektro-kotel	TČ vzduch	TČ země vrty bivalentní	TČ země kolektory bivalentní	zplyňovací kotel	automat. kotel na pelety	solární kolektory kotel na zem. plyn	solární kolektory elektro-kotel	solární kolektory zplyňovací kotel		
pořizovací náklady	146 000	85 000	258 000	471 000	341 000	128 000	148 000	273 000	195 000	234 500	Kč	min
provozní náklady	69 330	116 230	49 920	48 700	48 700	41 200	56 500	67 700	110 300	37 400	Kč	min
předp. stabilita ceny paliva	20	10	40	50	50	80	65	25	15	85	bodové hodnocení	max
čas. náročnost na obsluhu	20	10	40	35	25	80	45	22	12	82	bodové hodnocení	min
náročnost na kvalif. obsluhy	30	15	80	80	80	25	35	35	20	35	bodové hodnocení	min
dostupnost servisu	90	90	50	50	50	80	70	70	70	60	bodové hodnocení	max
předpokládaná doba životnosti	30	30	15	20	20	25	30	30	30	28	roky	max
prostor. nároky uvnitř objektu	2	2	4	5	5	7	9	4	4	7	m ²	min
prostor. nároky vně objektu	0	0	1	7	300	10	10	0	0	10	m ²	min
vliv na životní prostředí	50	30	15	10	10	70	60	45	25	65	bodové hodnocení	min

Po dosazení hodnot do tabulky a vyhodnocení dle algoritmů metody MKRA vyšel dle zadaných kritérií jako optimální zdroj vytápění elektrokotel. Tento výsledek považuji za objektivní, protože pořizovací náklady, nároky na údržbu a obsluhu a prostorové nároky jsou minimální. Jelikož je výběr systému vytápění závislý na požadavcích investora, vytvořil jsem novou tabulku s váhovým hodnocením. Pro stanovení vah jednotlivých kritérií jsem vybral tři typy investorů s různými požadavky na systém vytápění.

Investor 1

Investor 1 je pracovně nadprůměrně vytížen a má vysoké příjmy. Proto má nároky na systém vytápění následující: minimální nároky na provoz, údržbu, obsluhu a na vnitřní prostor. Další kritéria týkající se ekonomiky systémů vytápění jsou pro něj méně důležitá. Investor má k dispozici dostatečně velký pozemek, takže nároky na venkovní prostor nejsou pro něj tolik důležité. Po zadání uvedených požadavků do tabulky s váhovým hodnocením vyšel pro tohoto investora jako optimální systém vytápění elektrokotel.

Investor 2

Investor 2 je pracovně průměrně vytížen s lehce nadprůměrným příjmem a technicky zdatný. Úmyslem investora je investovat větší sumu do hospodárného



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

systému. Z uvedených důvodů jsou nároky na systém vytápění následující: dlouhodobě nízké provozní náklady, průměrná náročnost na obsluhu a minimální vliv na životní prostředí. Až v druhé řadě ho zajímají technické požadavky na obsluhu systému a prostorové nároky systému vytápění. Po zadání uvedených požadavků do tabulky s váhovým hodnocením vyšel pro tohoto investora jako optimální systém vytápění TČ se zemními kolektory.

Investor3

Investor 3 je méně pracovně vytížen s nižším příjmem, technicky a manuálně zdatný. Jeho nároky na systém vytápění jsou tedy co nejnižší pořizovací a provozní náklady. Ostatní kritéria jsou pro něj méně důležitá. Po zadání uvedených požadavků do tabulky s váhovým hodnocením vyšel pro tohoto investora jako optimální systém vytápění zplyňovací kotel.

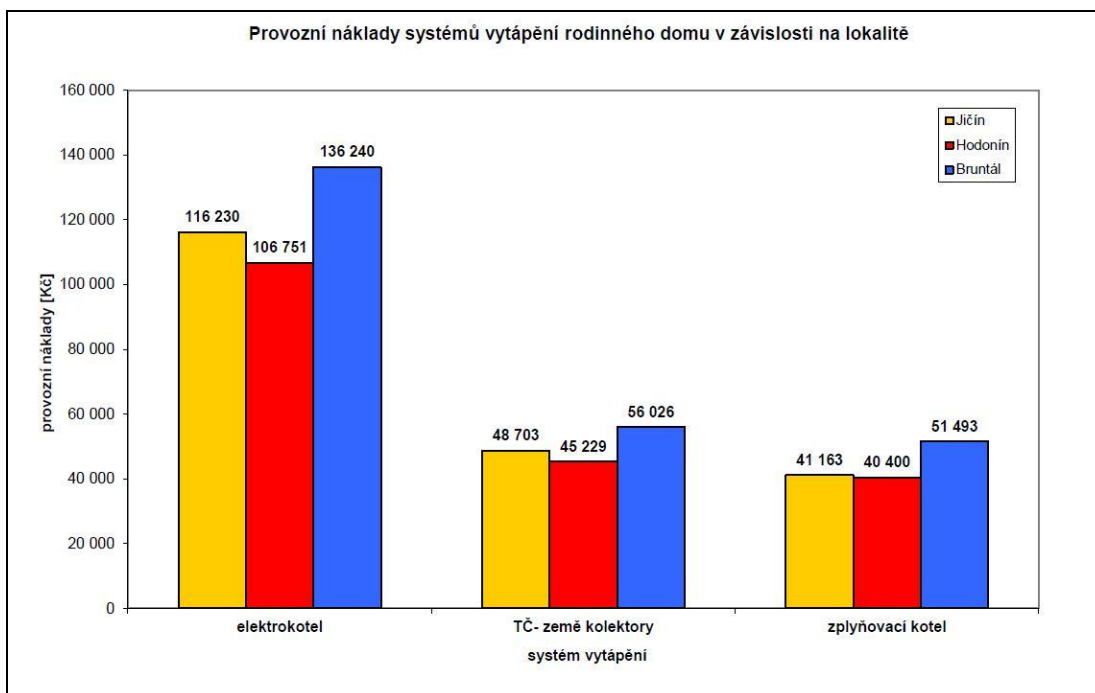
8.2 Citlivostní analýza

Protože dotace na alternativní zdroje vytápění jsou pozastaveny, nemohl jsem v tomto případě provést citlivostní analýzu. Provedl jsem tedy citlivostní analýzu změny lokality pro tři systémy vytápění, které vyšly v předchozí kapitole u daného objektu jako optimální. V analýze jsem se zabýval dvěma rozdílnými lokalitami. Jako první lokalitu jsem vybral Hodonín. Tato lokalita by měla představovat nejvýhodnější oblast z pohledu potřeby tepla na vytápění, protože má nejkratší otopné období a vysokou průměrnou teplotu. Jako druhou lokalitu jsem vybral Bruntál. Tato lokalita má naopak nejdelší otopné období a velmi nízkou průměrnou venkovní teplotu. Po zadání charakteristik těchto oblastí do výpočtového nástroje (popsaného v kapitole 7.1) byla přepočtena celková roční potřeba na vytápění a ohřev TUV. Pokud by byl rodinný dům postaven v oblasti Hodonína, byla by celková potřeba tepla 36,8 MWh/rok. Pokud by byl stejný rodinný dům postaven v oblasti Bruntál, byla by celková potřeba tepla 48 MWh/rok. Na základě těchto údajů a postupů uvedených v kapitole 7 jsem provedl výpočet provozních nákladů pro elektrokotel, TČ s plošnými kolektory a zplyňovací kotel.

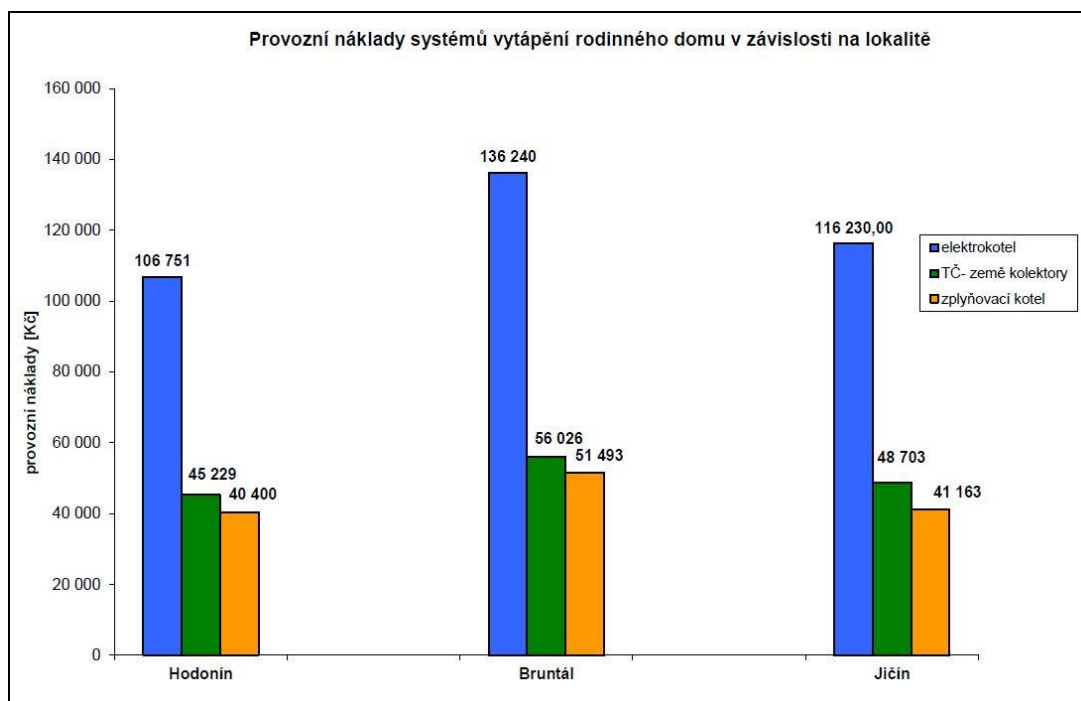
Výsledky citlivostní analýzy dokumentují obrázky 17 a 18.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu



Obr. 17: Citlivostní analýza změny lokality dle zdrojů vytápění



Obr. 18: Citlivostní analýza změny lokality dle místa



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

9 Závěr

Úkolem této práce bylo stanovení optimálního systému vytápění pro definovaný objekt. Na základě zpracovaných informací jsem dospěl k závěru, že při stanovení systému vytápění z velké části záleží na požadavcích uživatele. Z tohoto důvodu jsem pro výsledné vyhodnocení použil multikriteriální analýzu, ve které jsem se snažil jednotlivé požadavky zohlednit. Při prostém hodnocení mi pro zvolená kritéria vyšel elektrokotel jako optimální systém vytápění. Jeho instalace, provoz i údržba jsou nejméně náročné. Po přiřazení váhy jednotlivým kritériím, kde jsem zdůraznil ekonomiku provozu, která může být v současné době jedním z nejdůležitějších kritérií, se výsledek změnil ve prospěch alternativních systémů vytápění. Nižších provozních nákladů můžeme dosáhnout buď vyššími investičními náklady na systém, nebo snížením nároků na obslužnost systému.

V úvodu práce jsem sepsal podrobnou rešerši týkající se alternativních zdrojů vytápění, která je podstatná pro pochopení dané problematiky. Na základě nabytých poznatků jsem do této práce zahrnul vedle vytápění i ohřev TUV. Ten umožňuje hospodárnější využití alternativních zdrojů tepla a zařazení solárních systémů.

Dalším krokem bylo určení pořizovacích a provozních nákladů jednotlivých systémů. U některých topných systémů bylo třeba využít softwaru a výpočtových nástrojů pro určení jejich energetického přínosu v průběhu celého roku. U výpočtového nástroje pro tepelná čerpadla jsem se zasloužil o opravu chyby, kterou jsem objevil při jeho použití a kterou respektoval i provozovatel systému. Dále jsem při výpočtu roční spotřeby energie TČ vzduch-voda zaznamenal, že v katalogových údajích, ze kterých jsem vycházel, není zahrnuta energie na odtávání výparníku. Proto předpokládám vyšší provozní náklady u tohoto systému. Pro stanovení konkrétních pořizovacích nákladů jsem oslovil různé firmy. Na základě údajů, které mi firmy poskytly, jsem vytvořil pro většinu systémů nabídky sám. U tepelných čerpadel jsem využil možnost vytvoření nezávazné nabídky. Z prostudovaných materiálů jsem zjistil, že tepelná čerpadla země-voda odpovídala svým výkonem téměř monovalentnímu režimu. Z informací, které jsem získal při zpracování rešerše, vyplývalo, že obecně je z ekonomického hlediska výhodnější bivalentní režim. Sestavil jsem tedy nabídku na bivalentní režim a vypočítal jsem provozní náklady pro obě nabídky. Potvrdilo se mi, že bivalentní režim je



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

ekonomicky výhodnější, a proto jsem ve výsledné analýze počítal jen s ním. Tepelná čerpadla jsou obecně výhodná pro podlahové topení. Vyčíslil jsem pro srovnání provozní náklady i pro tuto variantu, i když ve výsledné analýze počítám s radiátory (které jsou instalované v objektu). V závěru práce jsem provedl citlivostní analýzu. Původně jsem chtěl zhodnotit vliv dotací na uvedené systémy. Protože jsou ale dotace v současné době pozastaveny, provedl jsem neméně zajímavou citlivostní analýzu pro změnu lokality objektu.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Použitá literatura

- [1] BELICA, Petr, Josef HLAVÁČ, Marie KUBEŠOVÁ, Libor LENŽA, Miloslav MUŽÍK, Zbislav PANOVEC, Zdeněk ŠTEKL, Ivana TESAŘÍKOVÁ a Petr WIRTH. *Malý průvodce energetickými úsporami a alternativními zdroji*. Valašské Meziříčí: aldebaran, 2003. ISBN 80-903117-6-8.
- [2] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA, 2005. ISBN 80-7366-031-8.
- [3] PETRÁŠ, Dušan, Tomáš MATUŠKA, Otilia LULKOVICHOVÁ, Ján TAKÁCS a Belo FURI. *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. bratislava: jaga, 2008. ISBN 978-80-8076-0699-4.
- [4] BROŽ, Karel, Bořivoj ŠOUREK. *Alternativní zdroje energie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02536.
- [5] Kol. Autorů. *Projekční podklady firmy IVT*. Praha: Tepelná čerpadla IVT, s.r.o., 2011.
- [6] SRDEČNÝ, Karel a František MACHOLDA. *Úspory energie v domě*. praha: grada, 2004. ISBN 80-247-0523-0.
- [7] MVB. www.mvb.cz [online]. 26.11 2011. URL:
< <http://www.mvb.cz/produkty/domacnosti/tepelna-cerpadla/zeme-voda/>>
- [8] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Pavel JASÁNEK, *Potenciál biomasy, druhy, balance a vlastnosti paliv z biomasy*. Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava 2006. ISBN 80-248-1207-X.
- [9] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC, *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*. Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava 2007. ISBN 978-80-248-1426-1.
- [10] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC, *Ekonomika při energetickém využívání biomasy*. Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava 2007. ISBN 978-80-248-1426-1.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

[11] MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. *Solární energie pro váš dům*. Brno: ERA, 2004. ISBN 80-7366-029-6.

[12] Czech Nature Energy . www.cne.cz [online]. 2. 3 2012. URL:

< <http://www.cne.cz/solarni-ohrev-vody/uvod-do-termickych-systemu>>

[13] Družstevní závody dražice. www.dzd.cz [online]. 2.3 2012. URL:

< www.dzd.cz >

[14] TZB- info.cz. www.tzb-info.cz [online]. 18.12 2011. URL:

<<http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>>

[15] RWE. www.rwe.cz [online]. 2.1 2012. URL:

< <http://www.rwe.cz/cs/do-zp-ceny-zp-RWE-Energie/> >

[16] CEZ. www.cez.cz [online]. 7.1 2012. URL:

<<http://www.cez.cz/cs/pro-zakazniky/elektrina/ceny/2012/domacnost/comfort.html>>

[17] Operační program Životního prostředí. www.opzp.cz [online]. 23.4 2012 URL:

<<http://www.opzp.cz/sekce/252/2/0/specificke-predpisy/>>

[18] ČHMU. www.chmu.cz [online]. 20.3 2012 URL:

<http://www.chmu.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_4_Uzemni_tploty&last=false>

[19] ČERMÁKOVÁ, Hana, Julie VOLFOVÁ. *Ekonomika spolehlivosti a rizika*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011. ISBN 978-80-7372-811-3.



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu


Seznam příloh

Příloha A: Cenová nabídka TČ vzduch-voda	85
Příloha B: Cenová nabídka TČ země-voda, vrty	86
Příloha C: Cenová nabídka TČ země-voda, kolektory	87
Příloha D: Cenové nabídky kotlů na biomasu	88
Příloha E: Cenová nabídka solárních kolektorů.....	89
Příloha F: Obsah přiloženého CD	90



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu


Příloha A: Cenová nabídka TČ vzduch-voda

Úsporné vytápění s.r.o. Jarošovská 528, 506 01 Jičín IČ: 28783115, DIČ: CZ28783115 t: +420 777 724 573, info@uspornevytapieni.cz , www.uspornevytapieni.cz		 Úsporné vytápění www.uspornevytapieni.cz	
DETAILNÍ CENOVÁ NABÍDKA			
Číslo nabídky	280212/001j	Investor	Kajzr Daniel
Datum vypracování nabídky	28.2.2012	Adresa	Rovensko pod Troskami
Tepelná ztráta objektu	17,0kW	Telefon	
Schéma výrobce číslo	6	Email	kurt66@seznam.cz
Sestava		Cena	Množství
Tepelné čerpadlo BoxAir-45Z-2011		172 900 Kč	1
Akumulační zásobník-G200 S/K		7 290 Kč	1
Zásobník smaltovaný (bojler)-G400/5MAX S/K		24 900 Kč	1
Volitelná výbava k tepelnému čerpadlu			
Expanzní karta a PGD		15 500 Kč	0
Terminál na stěnu		9 800 Kč	0
Připojení na internet (záruka 7 let*)		10 900 Kč	0
Režim chlazení		5 200 Kč	0
Terminál pAD chlazení podlahou		4 300 Kč	0
ON/OFF Modul		1 600 Kč	1
Sledovač fáze		1 300 Kč	0
Softstart 15A		6 800 Kč	0
Barvy tepelného čerpadla: červená nebo šedá nebo stříbrná		0 Kč	1
Ostatní materiál			
Ventil trojcestný SF-25-E		1 000 Kč	1
Servopohon pro trojcestný ventil		1 200 Kč	1
Nemrzoucí směs CT-EG-E, koncentrát, ředění s vodou 40:60		68 Kč	0
Projekční práce			
Prováděcí projekt otopné soustavy		10 000 Kč	0
Prováděcí projekt strojovny		5 000 Kč	0
Výpočet tepelných ztrát objektu		3 000 Kč	0
Posouzení otopné soustavy		1 400 Kč	0
Montáž (do 5m vedení potrubí/kabelů mezi jednotlivými technologiemi)			
Montáž strojovny (včetně ostatního materiálu)		34 900 Kč	1
Montáž elektroinstalace (včetně ostatního materiálu)		8 900 Kč	1
Celkem bez DPH			220 874 Kč
Celkem s DPH 14%			251 796 Kč
Cena neobsahuje výkopové práce, terénní úpravy, zednické práce. DPH bude účtováno podle platných daňových předpisů. Montáž provádí certifikovaná montážní firma na základě schématu firmy Master Therm tepelná čerpadla s.r.o. Platnost cenové nabídky je 2 měsíce od data vypracování.			
Servis			
Záruční i pozáruční servis tepelného čerpadla je zajištěn prostřednictvím firmy MasterTherm servis s.r.o. po celé České republice. Většina servisních zákroků se dá vyřešit prostřednictvím internetového připojení. Díky vlastní výrobě a znalosti technologie je servisní tým vždy připraven vyřešit případný problém efektivně a rychle.			
Hranice dodávky			
Přesná příprava instalace a specifikace hranic dodávky bude upřesněna po osobní návštěvě a popsána ve smlouvě o dílo.			
Záruční podmínky			
3 roky: Na TČ je poskytována záruční lhůta v délce 3 let, ode dne spuštění TČ do provozu, maximálně však 42 měsíců od expedice z výrobního závodu.			
*7 let: Záruku 7 let ode spuštění TČ do provozu (max však 7,5 let od expedice z výrobního závodu) je možné získat aktivací funkce Připojení na internet do první topné sezony. Druhou podmínkou jsou čtyři placené servisní prohlídky u prodávajícího po 1., 3., 5. topné sezoně. Cena servisní prohlídky je paušálně stanovena na 2500,- Kč bez DPH.			
Záruka se vždy vztahuje na veškeré náklady (materiál, práce, cestovní výlohy, ...) spojené s případnými servisními zásahy, které jsou předmětem záruky. Na ostatní komponenty je záruční doba 24 měsíců, ode dne předání investorovi, pokud výrobce komponentů nestanoví delší záruční dobu.			
Dodací lhůta			
Dodací lhůta je 6 týdnů od závazné objednávky, pokud není ve smlouvě o dílo stanoveno jinak.			
Na další spolupráci se těší a za Váš zájem děkuje :		Jiří Samšíňák obchodní zástupce firmy Úsporné vytápění s.r.o. 774 850 074, j.samsinak@uspornevytapieni.cz	



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu


Příloha B: Cenová nabídka TČ země-voda, vrtů

Úsporné vytápění s.r.o. Jarošovská 528, 506 01 Jičín IČ: 28783115, DIČ: CZ28783115 t: +420 777 724 573, info@uspornevytapieni.cz , www.uspornevytapieni.cz		 Úsporné vytápění www.uspornevytapieni.cz	
DETAILNÍ CENOVÁ NABÍDKA			
Číslo nabídky	280212/003j	Investor	Kajr Daniel
Datum vypracování nabídky	28.2.2012	Adresa	Rovensko pod Troskami
Tepelná ztráta objektu	17,0kW	Telefon	
Schéma výrobce číslo	6	Email	kurt66@seznam.cz
Sestava	Cena	Množství	Akční sleva
Tepelné čerpadlo AquaMaster-45Z-2011	177 900 Kč	1	4%
Akumulační zásobník-G200 S/K	7 290 Kč	1	
Zásobník smaltovaný (bojler)-G400/5MAX S/K	24 900 Kč	1	100%
Primární okruh - vrt			
Vyvrtání a vystrojení vrtu	990 Kč	280m	
Páteří PE potrubí, rozdělovač-sběrač, připojení, naplnění a zprovoznění okruhu	1 200 Kč	5m	
Volitelná výbava k tepelnému čerpadlu			
Expanzní karta	6 700 Kč	0	
Terminál na stěnu	9 800 Kč	0	
Připojení na internet (záruka 7 let*)	10 900 Kč	0	50%
Desuperheater	8 300 Kč	0	
Režim chlazení	17 900 Kč	0	
Terminál pAD kompenzace teploty	2 900 Kč	0	
Terminál pAD chlazení podlahou	4 300 Kč	0	
Elektrokotel 4,5 kW nebo 6,0 kW nebo 7,5 kW	8 300 Kč	0	
Softstart 15A	6 800 Kč	0	
Softstart 25A	8 000 Kč	0	
Sledovač fáze	1 300 Kč	0	
Barvy tepelného čerpadla: červená nebo šedá	0 Kč	1	
Ostatní materiál			
Ventil trojcestný SF-25-E	1 000 Kč	1	
Servopohon pro trojcestný ventil	1 200 Kč	1	
Prostorový termostat drátový	1 950 Kč	0	
Projekční práce			
Prováděcí projekt otopné soustavy	10 000 Kč	0	
Prováděcí projekt strojovny	5 000 Kč	0	
Výpočet tepelných ztrát objektu	3 000 Kč	0	
Posouzení otopné soustavy	1 400 Kč	0	
Montáž (do 5m vedení potrubí/kabelů mezi jednotlivými technologiemi)			
Montáž strojovny (včetně ostatního materiálu)	34 900 Kč	1	
Montáž elektroinstalace (včetně ostatního materiálu)	7 900 Kč	1	
Celkem bez DPH			506 274 Kč
Celkem s DPH 14%			577 152 Kč
Cenová nabídka bude upřesněna po zpracování prováděcí projektové dokumentace primárního okruhu.			
Cena neobsahuje výkopové práce, terénní úpravy, zednické práce. DPH bude účtováno podle platných daňových předpisů. Montáž provádí certifikovaná montážní firma na základě schématu firmy Master Therm tepelná čerpadla s.r.o. Platnost cenové nabídky je 2 měsíce od data vypracování.			
Servis			
Záruční i pozáruční servis tepelného čerpadla je zajištěn prostřednictvím firmy Master Therm servis s.r.o. po celé České republice. Většina servisních zákroků se dá vyřešit prostřednictvím internetového připojení. Díky vlastní výrobě a znalosti technologie je servisní tým vždy připraven vyřešit případný problém efektivně a rychle.			
Hranice dodávky			
Přesná příprava instalace a specifikace hranic dodávky bude upřesněna po osobní návštěvě a popsána ve smlouvě o dílo.			
Záruční podmínky			
3 roky:	Na TČ je poskytována záruční lhůta v délce 3 let, ode dne spuštění TČ do provozu, maximálně však 42 měsíců od expedice z výrobního závodu.		
*7 let:	Záruku 7 let ode spuštění TČ do provozu (max však 7,5 let od expedice z výrobního závodu) je možné získat aktivací funkce Připojení na internet do první topné sezony. Druhou podmínkou jsou čtyři placené servisní prohlídky u prodávajícího po 1., 3. a 5. topné sezoně. Cena servisní prohlídky je paušálně stanovena na 2500,- Kč bez DPH.		
Záruka se vždy vztahuje na veškeré náklady (materiál, práce, cestovní výlohy, ...) spojené s případnými servisními zásahy, které jsou předmětem záruky. Na ostatní komponenty je záruční doba 24 měsíců, ode dne předání investorovi, pokud výrobce komponentů nestanoví delší záruční dobu.			
Dodací lhůta			
Dodací lhůta je 6 týdnů od závazné objednávky, pokud není ve smlouvě o dílo stanoveno jinak.			
Na další spolupráci se těší a za Váš zájem děkuje :		Jiří Samšíňák obchodní zástupce firmy Úsporné vytápění s.r.o. 774 850 074, j.samsinak@uspornevytapieni.cz	



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Příloha C: Cenová nabídka TČ země-voda, kolektory

Úsporné vytápění s.r.o. Jarošovská 528, 506 01 Jičín IČ: 28783115, DIČ: CZ28783115 t: +420 777 724 573, info@uspornevytapieni.cz , www.uspornevytapieni.cz		 Úsporné vytápění www.uspornevytapieni.cz	
DETAILNÍ CENOVÁ NABÍDKA			
Číslo nabídky	280212/002j	Investor	Kajzr Daniel
Datum vypracování nabídky	28.2.2012	Adresa	Rovensko pod Troskami
Tepelná ztráta objektu	17,0kW	Telefon	
Schéma výrobce číslo	6	Email	kurt66@seznam.cz
Sestava		Cena	Množství
Tepelné čerpadlo AquaMaster-45Z-2011		177 900 Kč	1
Akumulační zásobník-G200 S/K 200l		7 290 Kč	1
Zásobník smaltovaný (bojler)-G400/5MAX S/K 400l, výměník 5m2		24 900 Kč	1
Primární okruh - plošný kolektor GEROTop			
PE potrubí, plast. šachta, rozdělovač-sběrač, položení, připojení, naplnění a zprovoznění okruhu		150 Kč	900m
Volitelná výbava k tepelnému čerpadlu			
Expanzní karta		6 700 Kč	0
Terminál na stěnu		9 800 Kč	0
Připojení na internet (záruka 7 let*)		10 900 Kč	0
Desuperheater		8 300 Kč	0
Režim chlazení		17 900 Kč	0
Terminál pAD kompenzace teploty		2 900 Kč	0
Terminál pAD chlazení podlahou		4 300 Kč	0
Elektrokotel 4,5 kW nebo 6,0 kW nebo 7,5 kW		8 300 Kč	0
Softstart 15A		6 800 Kč	0
Softstart 25A		8 000 Kč	0
Sledovač fáze		1 300 Kč	0
Barvy tepelného čerpadla: červená nebo šedá		0 Kč	1
Ostatní materiál			
Ventil trojcestný SF-25-E		1 000 Kč	1
Servopohon pro trojcestný ventil		1 200 Kč	1
Prostorový termostat drátový		1 950 Kč	0
Projekční práce			
Prováděcí projekt otopné soustavy		10 000 Kč	0
Prováděcí projekt strojovny		5 000 Kč	0
Výpočet tepelných ztrát objektu		3 000 Kč	0
Posouzení otopné soustavy		1 400 Kč	0
Montáž (do 5m vedení potrubí/kabelů mezi jednotlivými technologiemi)			
Montáž strojovny (včetně ostatního materiálu)		34 900 Kč	1
Montáž elektroinstalace (včetně ostatního materiálu)		7 900 Kč	1
Celkem bez DPH			358 074 Kč
Celkem s DPH 14%			408 204 Kč
Cenová nabídka bude upřesněna po zpracování prováděcí projektové dokumentace primárního okruhu.			
Cena neobsahuje výkopové práce, terénní úpravy, zednické práce. DPH bude účtováno podle platných daňových předpisů. Montáž provádí certifikovaná montážní firma na základě schématu firmy Master Therm tepelná čerpadla s.r.o. Platnost cenové nabídky je 2 měsíce od data vypracování.			
Servis			
Záruční i pozáruční servis tepelného čerpadla je zajištěn prostřednictvím firmy MasterTherm servis s.r.o. po celé České republice. Většina servisních zákroků se dá vyřešit prostřednictvím internetového připojení. Díky vlastní výrobě a znalosti technologie je servisní tým vždy připraven vyřešit případný problém efektivně a rychle.			
Hranice dodávky			
Přesná příprava instalace a specifikace hranic dodávky bude upřesněna po osobní návštěvě a popsána ve smlouvě o dílo.			
Záruční podmínky			
3 roky:	Na TČ je poskytována záruční lhůta v délce 3 let, ode dne spuštění TČ do provozu, maximálně však 42 měsíců od expedice z výrobního závodu.		
*7 let:	Záruku 7 let ode spuštění TČ do provozu (max však 7,5 let od expedice z výrobního závodu) je možné získat aktivací funkce Připojení na internet do první topné sezony. Druhou podmínkou jsou čtyři placené servisní prohlídky u prodávajícího po 1., 3. a 5. topné sezoně. Cena servisní prohlídky je paušálně stanovena na 2500,- Kč bez DPH.		
Záruka se vždy vztahuje na veškeré náklady (materiál, práce, cestovní výlohy, ...) spojené s případnými servisními zásahy, které jsou předmětem záruky. Na ostatní komponenty je záruční doba 24 měsíců, ode dne předání investorovi, pokud výrobce komponentů nestanoví delší záruční dobu.			
Dodací lhůta			
Dodací lhůta je 6 týdnů od závazné objednávky, pokud není ve smlouvě o dílo stanoveno jinak.			
Na další spolupráci se těší a za Váš zájem děkuje :		Jiří Samšíňák obchodní zástupce firmy Úsporné vytápění s.r.o. 774 850 074, j.samsinak@uspornevytapieni.cz	



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Příloha D: Cenové nabídky kotlů na biomasu

Cenová nabídka zplyňovací kotle [BUDERUS DC 24 RS]				
Název dílu	ks/m	cena za ks/m [Kč]	cena [bez DPH] [Kč]	cena [s 20 % DPH][Kč]
kotel DC 24 RS	1	33166,7	33166,7	39800,04
Laddomat 21	1	6470,8	6470,8	7764,96
Pojišťovací sestava malá	1	485	485	582
Směšovací sestava malá	1	2873	2873	3447,6
Výstupní sestava pro chladicí smyčku	1	1126,6	1126,6	1351,92
Vstupní sestava pro chladicí smyčku	1	419,7	419,7	503,64
Bojlerová sestava TUV	1	2127	2127	2552,4
Akumulační nádrž s izolací 1000 l	1	20583,3	20583,3	24699,96
Akum. nádrž (s plovoucím bojlerem 200 l) s izolací 1000 l	1	30583	30583	36699,6
Elektrické topné těleso 4,5 kW	1	3042	3042	3650,4
Montáž včetně materiálu	1			7000
Celkem				128 053

Cenová nabídka automatizovaného kotle na pelety [BUDERUS D25 P]				
Název dílu	ks/m	cena za ks/m [Kč]	cena [bez DPH] [Kč]	cena [s 20 % DPH][Kč]
Kotel na pelety D25 P	1	25600	25600	30720
Hořák atmos A25	1	18900	18900	22680
Ovládací sada AS25	1	1640	1640	1968
Šnekový dopravník DA1500	1	8900	8900	10680
Nádrž na pelety 1000 l	1	8600	8600	10320
Odpelňovací zařízení	1	9899	9899	11878,8
Přídavný popelník 68 l	1	3450	3450	4140
Pojišťovací sestava malá	1	485	485	582
Směšovací sestava malá	1	2873	2873	3447,6
Výstupní sestava pro chladicí smyčku	1	1126,6	1126,6	1351,92
Vstupní sestava pro chladicí smyčku	1	419,7	419,7	503,64
Bojlerová sestava TUV	1	2127	2127	2552,4
Akumulační nádrž (s plovoucím bojlerem 140 l) s izolací 800 l	1	27917	27917	33500,4
Elektrické topné těleso 4,5 kW	1	3042	3042	3650,4
Montáž včetně materiálu	1			10000
Celkem				147 975



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Příloha E: Cenová nabídka solárních kolektorů

Cenová nabídka solárních kolektortů SUNTIME				
Název dílu	ks/m	cena za ks/m [Kč]	cena [bez DPH] [Kč]	cena [s 20 % DPH][Kč]
Kolektor Suntime 2.1	3	11 490	34470	41364
Kotvicí prvky pro 3 kolektory	1	4400	4400	5280
Propojovací prvky pro 3 kolektory	1	1505	1505	1806
Expanzní nádoba (24 l)	1	1960	1960	2352
Armatura k expanzní nádobě	1	385	385	462
Termostatický sněhovací ventil	1	1500	1500	1800
Solární řídicí stanice SRJ10	1	4000	4000	4800
Solární čerpadlová skupina dvoustupačková	1	7 457	7457	8948,4
Nerezová flexi hadice (10m)	1	6744	6744	8092,8
Zásobník na TV (200l) s el. topnou patronou	1	18 750	18750	22500
Teplonosná kapalina (20 l)	20	53	1060	1272
Návrh a montáž včetně materiálu				28000
Celkem				126677



Bakalářská Práce: Rozhodovací model výběru optimálního systému vytápění vybraného objektu

Příloha F: Obsah přiloženého CD

- Tato práce v elektronické podobě
 - Název souboru: Bakalářská práce
 - Formát: PDF
- Výpočet provozních nákladů jednotlivých systémů vytápění
 - Název souboru: provozní_náklady
 - Formát: XLS
- Výpočet citlivostní analýzy v závislosti na lokalitě
 - Název souboru: citlivostní_analýza
 - Formát: XLS
- Výpočet MKRA
 - Název souborů: MKRA_prosté_hodnocení, MKRA_vážené_hodnocení
 - Formáty: XLS
- Výpočet pomocí výpočtového nástroje pro TČ
 - Název souborů: TČ_vzduch_voda_45, TČ_vzduch_voda_30, TČ_země_voda_M45, TČ_země_voda_M30, TČ_země_voda_B45, TČ_země_voda_B30
 - Formáty: XLS
- Sestavené cenové nabídky
 - Název souboru: nabídky
 - Formáty: XLS